SCIENCES ET AVENIR

©PHOTOMONTAGE SetA - NASA

2024 LES COLÈRES DU SOLEIL p.26

Diabète, surpoids

LA MOLÉCULE MIRACLE p.52

Elle serait bénéfique pour Alzheimer, Parkinson, les maladies cardiaques...

Après les États-Unis
Elle déferle en France

SCIENCES ET AVENIR - N° 931 - SEPTEMBRE 2024 - LA MOLÉCULE MIRACLE
SEPTEMBRE 2024 - N° 931 - ALLEMAGNE 7,40 € / ITALIE 5,70 € / LUXEMBOURG 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / BELGIQUE 5,70 € / DOM 5,90 € / TOM 800 XPF / ILE MAURICE : 8.60€ / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $
L 13418 - 931 S - F: 5,30 € - RD

Avec le soleil, on peut faire fondre sa facture d'électricité.

Avec **ENGIE My Power**, produisez votre propre électricité en installant des panneaux solaires sur votre maison.

Jusqu'à **1500 €** TTC/an* **d'économie sur votre facture d'électricité.**

J'agis avec ENGIE My Power

En savoir plus

ENGIE My Power

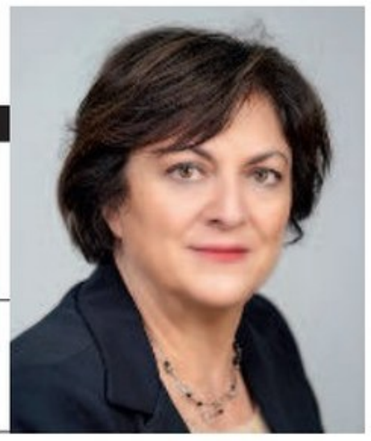
L'énergie est notre avenir, économisons-la !

*Exemple type pour 1500 € d'économie/an en moyenne sur 10 ans: maison située à Nice (06), orientée plein sud, inclinaison du toit 35° par rapport à l'horizontale, logement construit avant 1980, surface de 130m², chauffage et eau chaude sanitaire fonctionnant à l'électricité, climatisation, piscine, composé de quatre personnes et puissance installée de 5,1kWc. Le calcul des économies est réalisé à partir de données de production issues du site PVGis (prenant en compte l'inclinaison et l'orientation du toit), de données de consommation estimées grâce à la date de construction du logement et le nombre d'occupants (références obtenues avec le rapport RAGE 2014, ADEME) et d'un taux d'autoconsommation fixé à 68%. Informations données à titre indicatif, qui peuvent varier en fonction de la situation géographique du logement, des habitudes de consommation du foyer et du contrat d'électricité souscrit. Le montant en euros est calculé en multipliant les kWh autoconsommés (production solaire multipliée par le taux d'autoconsommation) avec un prix du kWh fixé à 0,3094€ pour les dix prochaines années. Ce prix est défini sur base du tarif réglementé Heures Pleines 9kVA applicable au 1er août 2023 sur lequel est appliquée une augmentation de 5% par an sur les dix prochaines années. Ce montant n'inclut pas la revente du surplus sur le réseau électrique ni les aides de l'État.

ENGIE MY POWER, SAS AU CAPITAL DE 9846000€, SIÈGE SOCIAL : 1 PLACE SAMUEL DE CHAMPLAIN 92400 COURBEVOIE, RCS NANTERRE 849 069 554. © Getty Images.

ÉDITORIAL

Dominique Leglu
Directrice éditoriale



BERNARD MARTINEZ

L'année la plus chaude

Acropole d'Athènes fermée à répétition avec distribution d'eau par la Croix-Rouge, récolte de blé tendre en France peut-être la plus faible depuis quarante ans, mer Méditerranée dont l'eau frôle les 30 °C, les poissons plongeant plus profond pour obtenir leur content d'oxygène… Que l'on soit touriste, agriculteur ou pêcheur, le constat à l'été 2024 des conséquences du réchauffement climatique global n'a jamais été aussi concret. Quant aux records égrenés par les instituts spécialisés, ils sont audibles par tous. Sont-ils pour autant entendus?

Record du 22 juillet. 2024 pourrait bien décrocher la triste médaille d'année la plus chaude jamais enregistrée, a annoncé l'institut européen Copernicus — que *Sciences et Avenir* cite souvent, car c'est un des meilleurs si ce n'est le meilleur observatoire mondial de l'évolution du climat, capable d'analyser les trillions de données recueillies sur toute la planète. Avec, en prime, le record du jour le plus chaud : 22 juillet. Mais après ces constats, quelles prévisions? Sait-on mieux qu'hier ce qui va se passer demain, et aussi après-demain?

Apprentissage profond. Pour le très court terme — la prévision météo —, on peut se risquer à l'optimisme. Comme explicité dans *Sciences et Avenir (Les Indispensables n° 217, avril-juin 2024)*, l'intelligence artificielle promet de grands bonds en avant! Faisant appel à un « apprentissage profond » nourri de statistiques historiques, les météorologues raffinent en effet leurs modèles, fondés sur des équations classiques de la physique. Une hybridation que les usagers apprécieront tout particulièrement quand la prévision concerne au plus près le terrain, dans leur localité, région, sur leurs trajets habituels…

Maille de 1,3 km. Plus fort encore, émergent « des modèles par apprentissage profond à 100 % », cinq étant en compétition au niveau mondial (États-Unis, Chine, Europe…), et toujours en cours d'amélioration. Avantage? Ils sont capables de livrer en quelques secondes seulement leurs prévisions… que l'on peut affiner. Les avancées sont incessantes, comme l'assurait dans nos colonnes Marc Pontaud, directeur de la recherche à Météo-France : à la fin de l'année, devrait être rendue publique la maquette d'un modèle IA d'une maille de 1,3 km sur l'Europe de l'Ouest! On l'attend avec impatience.

Antarctique inquiétante. Pour le long terme, c'est l'évolution du climat sur la planète tout entière qu'il s'agit de prédire. Surtout son rythme. L'inquiétude vient des Pôles. Jean Jouzel, prix Nobel de la paix 2007 avec le Giec, dans une interview accordée début août à BFM-TV, n'a ainsi pas manqué d'insister sur *« le réchauffement de l'Antarctique, deux fois plus rapide qu'il ne l'est à l'échelle planétaire »*. Peut-on pronostiquer une bascule dans la fonte de ses glaces, entraînant une dramatique montée du niveau de l'océan? Incertitude scientifique. Ce qui ne justifie en rien une inaction politico-économique. ■

COURRIER

« Le temps zéro de l'Univers »
(*Sciences et Avenir* n° 927, mai 2024)

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

Dans votre article, il est mentionné qu'au mur de Planck, la température est 100 000 milliards de milliards de milliards de fois supérieure à la température actuelle de l'Univers, qui n'est que de -270 °C. Au cours des milliards d'années à venir, l'Univers va encore s'étendre et encore se refroidir. Peut-on supposer qu'il franchisse alors la barre des -273,15 °C (le zéro absolu), ce qui est théoriquement impossible ?

Claude Laurençon

S. et A. : Non, en aucun cas on ne pourra descendre sous la température de -273,15 °C, soit le zéro absolu. En effet, la température n'est qu'une traduction de l'agitation des atomes et des molécules. Elle est proportionnelle à la vitesse moyenne des particules élevée au carré. Le zéro absolu, vers lequel on ne peut que tendre sans l'atteindre tout à fait, correspond à une vitesse nulle. Voilà pourquoi on ne peut pas descendre en dessous…

Peau de pêche

Dans votre article sur la nutrition du numéro de juillet-août 2024, vous parlez des bienfaits à manger des pêches. Vous expliquez dans cet article que la peau contient des polyphénols bons pour la santé. Mais n'y a-t-il pas un risque quand on mange des fruits traités ? Le fait de les laver est-il suffisant pour pouvoir les manger avec la peau ?

M. Nathan

S. et A. : Effectivement il est préférable d'acheter des fruits bio, afin de pouvoir consommer aussi la peau, riche en vitamines, minéraux et antioxydants. Toutefois, ce n'est pas toujours possible. Aussi, les laver avec un peu de bicarbonate de sodium alimentaire pourrait aider à éliminer une partie des pesticides à la surface des fruits et légumes, comme l'a montré en 2017 une étude américaine parue dans le *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Les chercheurs ont imprégné des pommes de deux pesticides courants (thiabendazole et phosmet) et après 24 heures d'exposition, ils ont testé trois méthodes de lavage différentes : l'eau du robinet, une solution composée d'eau et de 1 % de bicarbonate de sodium et une solution à l'eau de Javel similaire à celle utilisée par les producteurs de fruits (Clorox Bleach). Les chercheurs ont ensuite contrôlé les niveaux de pesticides à la surface et à l'intérieur du fruit après chaque méthode de lavage. Et c'est la méthode qui consistait à laisser tremper 15 minutes les fruits dans une solution d'eau et de bicarbonate de sodium qui s'est avérée la plus efficace. Les auteurs reconnaissent toutefois qu'aucune technique ne permet d'éliminer totalement la part des pesticides ayant migré vers l'intérieur du fruit. Il faut alors le peler.

PRIX JEAN-PERRIN

Rédacteur en chef du magazine *La Recherche*, **Philippe Pajot** a reçu le prix Jean-Perrin de la Société française de physique qui *« récompense un effort particulièrement réussi de popularisation de la science »*. Le jury a salué *« un journaliste scientifique d'exception et un homme à l'objectif ambitieux, celui de décloisonner la science pour la faire infuser dans toutes les strates de la société »*. Objectif partagé par toute la rédaction de *La Recherche* et de *Sciences et Avenir*. Félicitations !

La science, CQFD.
Natacha Triou
DU LUNDI AU JEUDI
16H – 17H
> Disponible sur le site et l'appli Radio France.

© Radio France/Ch. Abramowitz

En partenariat avec
SCIENCES ET AVENIR

france culture
L'esprit d'ouverture

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef

Vous avez dit miracle ?

Alimentation, exercice physique, sommeil, lutte contre le stress… les lecteurs de *Sciences et Avenir* savent, par la régularité des dossiers de « une » consacrés à ces sujets, combien notre journal est sensible aux preuves scientifiques de l'importance d'une bonne hygiène de vie pour vivre longtemps en bonne santé. Est-ce que nous aurions soudainement vendu notre âme à « Big Pharma »? En aucun cas, rassurez-vous! Mais depuis des mois nous observons qu'il se passe quelque chose autour d'une classe de médicaments encore mal connue en France, des antidiabétiques « analogues du GLP-1 ». Les études se multiplient à un rythme inhabituel, les premiers acteurs explosent en Bourse tandis que d'autres se positionnent, des ruptures d'approvisionnement trahissent une demande croissante des patients. Fort heureusement, la science respecte le temps long nécessaire aux essais cliniques. Dans un article publié cet été dans la revue *Science*, un endocrinologue canadien de renom et acteur de la découverte de ces molécules, Daniel Drucker, dresse ce tableau : *« Après près de deux décennies d'utilisation clinique du GLP-1 pour le diabète de type 2 et dix ans après l'approbation du premier médicament GLP-1 pour la perte de poids chez les personnes obèses, la prochaine décennie pourrait apporter des progrès encore plus grands, en élargissant leur utilisation au-delà des troubles cardio-métaboliques.* » Cette classe de molécules pourrait ainsi devenir une arme de choix pour traiter les troubles cardiaques, mais aussi les pathologies rénales, les maladies neurodégénératives, voire… le cancer. Une « molécule miracle »? *Sciences et Avenir* a mené l'enquête. Sans jamais oublier l'extrême prudence que nous impose le poids du passé. Il y a à peine quelques mois, après plus de dix ans de procédures, la cour d'appel de Paris condamnait les laboratoires Servier pour *« tromperie aggravée »*, *« homicides et blessures involontaires »* et *« escroquerie »*, dans l'affaire du Mediator. Rappelons qu'il s'agissait là aussi d'un antidiabétique, souvent prescrit pour perdre du poids. L'agence française du médicament s'est saisie du problème de la prescription du GLP-1 en créant un comité scientifique, mais rien n'a filtré des discussions en cours. Preuve de leur complexité : juste avant l'été, le comité a été prolongé jusqu'en juin 2025. Plus que jamais, prudence est mère de sûreté. ■

> « Depuis des mois nous observons qu'il se passe quelque chose autour d'une classe de médicaments antidiabétiques… Nous avons mené l'enquête »

SCIENCES ET AVENIR

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (11 numéros dont un double) : 35 € 1 an complet (11 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Rédacteur en chef Sciences et Avenir Mathieu NOWAK 01.55.35.56.38
Rédacteur en chef La Recherche Philippe PAJOT - 01.70.98.19.29
Rédacteur en chef digital Olivier LASCAR - 01.55.35.56.15

Rédaction en chef hors-série Vincent REA - 01.55.35.56.35 avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Hugo JALINIÈRE (Sciences et Avenir) - 01.55.35.56.52
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59 - Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la rédaction en chef
Rachel MULOT (cheffe de service enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service Fabrice NICOT (fondamental) - 01.55.35.56.46
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78 Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33 Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Rédaction Marine BENOIT (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.23 Arnaud DEVILLARD (numérique, expositions) - 01.55.35.56.27 Sylvie ROUAT (grand reporteure, espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Assistante de direction Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueurs Sylvie BENZONI-GAVAGE, Christophe CASSOU, Jean-Gabriel GANASCIA, Céline GUIVARCH, CLAIRE MATHIEU
Ont participé à ce numéro P. BERLOQUIN, C. COUMAU, A. DAVID, L. DUTHOIT, M.-C. DUVERNOY, S. EPINEAU, I. FOUCAUD, A. INGRAND, P. KALDY, M. LAPLACE, M. PARRA
1re secrétaire de rédaction Sandrine HAGÈGE - 01.55.35.56.17
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital Sarah BOULVARD (journaliste vidéaste en alternance) - 01.55.35.56.51, Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70, Isabelle DO O'GOMES (cheffe de rubrique, veille) - 01.55.35.56.49, Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24, Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15, Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56, Astrid SAINT AUGUSTE (rédactrice spécialisée) - 01.55.35.56.48, Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Jessica RIOS responsable projets digitaux - Yann BOURDAIS chef de projet junior - Flora ISSINGUI cheffe de projet marketing digital
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines William AFTHONIADES - wafthoniades@challenges.fr
Responsable paye Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Sarah RABBAH
Publicité MediaObs 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur de publicité Emmanuel LALA - 01.44.88.89.28
Exécution : Emilien RIGNOLS - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Partenariats et événements – Alain SCEMAMA - 01.58.65.03.58

Les Éditions Croque Futur
Président, directeur de la publication Claude PERDRIEL
Directeur général Philippe MENAT
Directeur éditorial Maurice SZAFRAN
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL

Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,018 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC 10-31-1557 pefc-france.org

FR

ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte une lettre de « bienvenue aux abonnés », un encart « CroisiEurope » ainsi que le message « Challenges » jetés sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés.
Commission paritaire n° 0625 K 79712.
ISSN 00368636. Distribué par MLP.

Transmettre l'espoir de vaincre le cancer

Léguez à l'Institut Curie, 1er Centre français de recherche en cancérologie

Transmettre tout ou une partie de ses biens à l'Institut Curie, premier centre français de recherche en cancérologie, est un formidable message d'espoir pour tous ceux qui luttent contre le cancer.

En soutenant les efforts de l'Institut Curie, fondé par Marie Curie, vous effectuez un geste de générosité envers les générations futures, vous donnez aux chercheurs et médecins les moyens de prendre le cancer de vitesse et associez votre nom à ce combat pour la vie.

institut **Curie**

ENSEMBLE, PRENONS
LE CANCER DE VITESSE

LEGS - DONATIONS - ASSURANCES-VIE

curie.fr

Pour tout renseignement contacter Catherine Ricatte - Institut Curie :
26, rue d'Ulm - 75248 Paris Cedex 05 - 01 56 24 55 34 - catherine.ricatte@curie.fr

institut **Curie**

BULLETIN DE DEMANDE D'INFORMATION à compléter à retourner sous enveloppe à l'adresse ci-dessus.

☐ Je désire recevoir votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie en faveur de l'Institut Curie.

☐ Je souhaite être contacté en toute confidentialité par votre responsable legs, donations et assurances-vie.

Vous pouvez me joindre au numéro ci-contre ▶

☐ Mme ☐ M. Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_|

Ville : .....

Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_|

S&A0924

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 931 / Septembre 2024

DOSSIER P. 52

GLP-1, la molécule miracle

Utilisée dans le traitement du diabète, cette hormone est aussi très efficace pour la perte de poids. Mais son action irait bien au-delà : risques cardio-vasculaires, affections neuronales, dépressions, insuffisance rénale, apnées du sommeil... Les effets bénéfiques du GLP-1 semblent infinis. Vraiment ?

P. 26

Alerte à la tempête solaire

L'actuel pic d'activité solaire a provoqué de superbes aurores boréales mais a aussi perturbé nos infrastructures. Comment protéger les satellites, les astronautes ou les passagers d'un avion ?

P. 36

La planète invisible des champignons

Le premier atlas des champignons de France vient d'être publié. Il révèle un monde insoupçonné qui, sous nos pieds, joue un rôle primordial dans la biodiversité.

P. 76

Comment l'humanité a accepté le handicap

Loin d'être rejetées, les personnes handicapées étaient prises en charge par nos ancêtres, révèle l'archéologie. Bilan de ces découvertes à l'occasion des jeux Paralympiques.

3 **Éditorial** par Dominique Leglu

4 **Courrier**

5 **Édito** par Mathieu Nowak

SCIENCES FONDAMENTALES

8 **ACTUALITÉS** Succès du premier lancement d'Ariane 6 / L'éveil d'un trou noir observé en direct

26 **Alerte à la tempête solaire**

31 **Le smartphone, outil de science**

34 **Journal de l'IA : L'IA pâtit d'un manque de confiance**

NATURE

12 **ACTUALITÉS** Une équation universelle pour voler et nager / L'écorce des arbres absorbe le méthane

36 **La planète invisible des champignons**

42 **Entretien avec Gonéri Le Cozannet, expert des risques côtiers**

44 **Un laboratoire au secours des coraux en Polynésie**

SANTÉ

18 **ACTUALITÉS** Le virus du sida enfin mis en échec / Le mécanisme de la migraine décrypté

66 **HPI : le vrai du faux des champions du QI**

71 **Une thérapie fait repousser les dents**

74 **Nutrition : Le thé, une infusion stimulante**

HISTOIRE

22 **ACTUALITÉS** Des chromosomes de mammouth reconstitués / Découverte d'une « Pompéi » des trilobites

76 **Comment l'humanité a accepté le handicap**

81 **Le secret hydraulique des Égyptiens**

82 **En Provence, l'autre royaume des dinosaures**

86 **Histoire des sciences : L'astrarium, une révolution planétaire**

89 **À voiles ou à vapeur, les bateaux ont propagé les maladies**

TRANSVERSALES

90 **Sélection livres**

93 **Expositions**

94 **Chroniques**
Climat par Christophe Cassou et Céline Guivarch / Mathématiques par Claire Mathieu / Éthique par Jean-Gabriel Ganascia / L'œil d'Olivier Lascar

96 **Questions de lecteurs**

97 **Le ciel de septembre**

98 **Jeux**

LEE SMITH/ REUTERS - NASA/SDO - OLIVIER DIGOIT/BIOSPHOTO - JEAN-PIERRE AGUER, VILLE DE LESCAR, 2009

STEPHANE CORVAJA / ESA

La fusée de 56 m de haut s'est élancée depuis Kourou, en Guyane française, pour un vol de démonstration de près de trois heures.

Succès du premier lancement d'Ariane 6

La réussite de ce vol de démonstration redonne à l'Europe une autonomie d'accès à l'espace qui lui avait fait défaut après le retrait en 2022 des lanceurs russes Soyouz de Kourou.

L'Europe est de retour en orbite ! Le 9 juillet, le lanceur Ariane 6 a effectué son premier vol de démonstration depuis le Centre spatial guyanais, à Kourou. Le moment de vérité a été celui de l'ouverture des bras délivrant les ergols cryogéniques, synchronisée avec l'allumage du moteur Vulcain 2.1 de l'étage principal et de ses deux boosters d'appoint *(lire* S. et A. *n° 928)*. Après séparation de l'étage principal, cinq minutes plus tard, le moteur Vinci du second étage et l'unité auxiliaire de propulsion (APU) — un petit générateur de poussée supplémentaire — se sont allumés pour la première fois dans un environnement de microgravité, au grand soulagement des équipes. Cela a permis de placer Ariane 6 sur une trajectoire balistique de 300 à 600 km au-dessus de la Terre, sans poussée supplémentaire. Après cette phase de 35 minutes, le moteur Vinci a été rallumé une seconde fois : cette nouvelle fonctionnalité d'Ariane 6 a permis de déployer huit petits satellites sur une orbite circulaire à 580 km d'altitude.

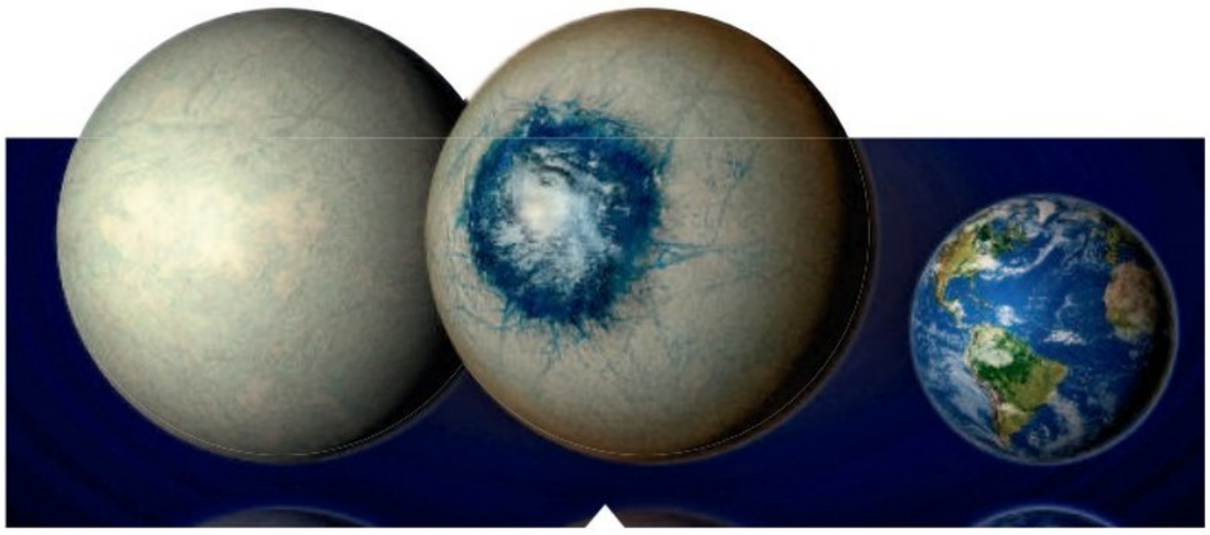
Un carnet de commandes bien rempli

Seul bémol de la mission : la dernière manœuvre prévoyait d'utiliser l'APU pour faire rentrer l'étage supérieur dans l'atmosphère au-dessus du Pacifique. Quelques secondes après un second allumage, l'APU a cessé de fonctionner. Les données de vol collectées sont en cours d'investigation pour en comprendre la cause. L'étage supérieur du lanceur est donc resté en orbite, mais son logiciel embarqué en a éteint les fonctions pour éviter tout risque d'explosion. Les deux petites capsules de test qui devaient être larguées durant cette étape n'ont pas été libérées « *afin d'éviter la création de débris spatiaux supplémentaires* », précise l'agence spatiale européenne qui se réjouit cependant de cette dernière séquence complexe, « *qui a démontré un fonctionnement optimal du mode "back-up"*. »

Ce premier vol d'Ariane 6 redonne à l'Europe une autonomie d'accès à l'espace, qui lui avait fait défaut après la guerre en Ukraine et le retrait en 2022 des lanceurs russes Soyouz de Kourou, puis à la suite de l'échec du dernier vol de Vega C en décembre 2022, et enfin de l'ultime vol d'Ariane 5 en juillet 2023. Le prochain lancement du nouveau lanceur lourd est prévu pour décembre, en vue sans doute de déployer un satellite de reconnaissance du ministère de la Défense français. Mais déjà, le carnet de commandes d'ArianeGroup, en charge de la commercialisation d'Ariane 6, affiche 29 contrats de lancement. De quoi relever un peu la tête face à la mainmise des Américains sur le marché. ■ **S. R.**

De l'eau liquide sur l'exoplanète LHS-1140 b

C'est la planète la plus prometteuse au-delà du Système solaire, selon des planétologues.



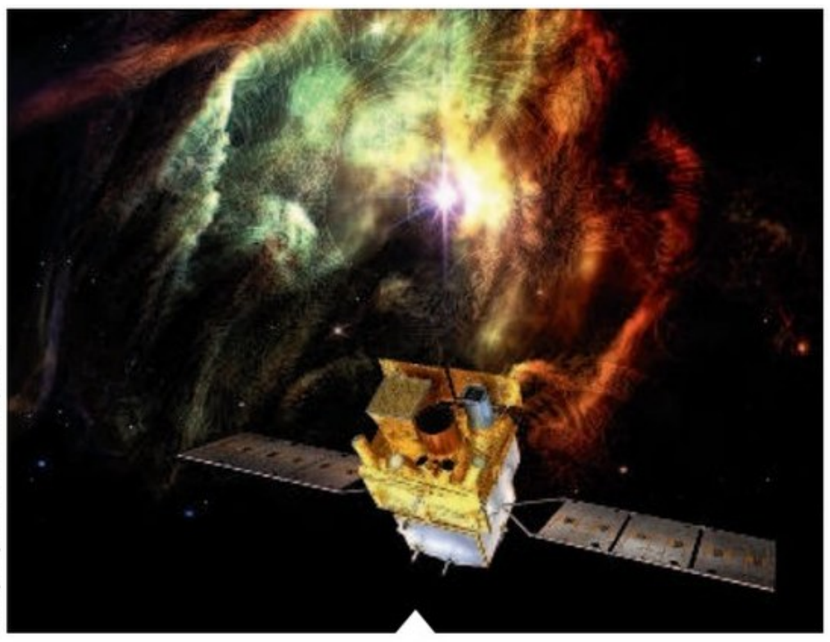
B. GOUGEON, UDEM

1,7 fois plus grande que la Terre (à droite), LHS-1140 b pourrait être totalement recouverte de glace (à gauche) ou dotée d'un océan (au centre, vue d'artiste).

À 48 années-lumière de la Terre, dans la constellation de la Baleine, l'exoplanète LHS-1140 b récemment scrutée par le télescope spatial James-Webb pourrait bien abriter de l'eau à l'état liquide. Huit fois moins dense que la Terre, elle possède un diamètre 1,7 fois plus grand. Et seule la présence d'eau à sa surface peut justifier sa curieuse densité. Par ailleurs, elle tourne autour d'une naine rouge peu lumineuse et leur proximité rend possible l'existence de conditions tempérées, et donc d'eau à l'état liquide. LHS-1140 b est la première planète observée qui pourrait abriter une aussi grande quantité d'eau autour d'une autre étoile que le Soleil. Cette hypothèse, qui repose sur des décennies de calculs théoriques, a été formulée par des chercheurs du CNRS et de l'université de Montréal (Canada). Pour la confirmer, il reste à mieux connaître la composition de son atmosphère. **M. L.**

EN DEUX MOTS

GÉOLOGIE Une étude de l'université de Californie du Sud (États-Unis) confirme que le noyau interne de la Terre ralentit sa rotation depuis 2010. **LUNE** Des scientifiques viennent de démontrer l'existence d'un tunnel dans le sous-sol lunaire formé par un tube de lave vide. **GOOGLE** Le géant de la recherche en ligne révèle que ses émissions de gaz à effet de serre ont bondi de 48 % en quatre ans (14,3 millions de tonnes de CO_2 en 2023) en raison de l'explosion des besoins en IA, et donc en puissance informatique.



CNES/ILL/SATTLEROLIVER, 2024

Svom localisera avec précision les sursauts (illustration).

Un nouveau satellite pour détecter les sursauts gamma

ASTROPHYSIQUE Le satellite franco-chinois Svom s'apprête à livrer ses premières données sur les phénomènes les plus lumineux dans l'Univers, les sursauts gamma. Lancé avec succès le 22 juin, il embarque deux instruments élaborés par le Cnes — pour 60 millions d'euros —, dont l'un permettra de localiser les sursauts avec précision. Situé à 625 km d'altitude, le satellite devrait enregistrer une centaine de phénomènes par an. **L. D.**

La nuit à portée de vue

OPTIQUE De simples lunettes permettraient de voir dans l'obscurité. Des physiciens ont établi qu'un composé chimique, le niobate de lithium, recouvert de silice, permet de convertir les infrarouges en rayons visibles par l'œil. Il le fait 10 fois plus efficacement que le matériau étudié jusqu'à présent (l'arséniure de gallium). En revanche, il doit être couplé à un laser qui reste à miniaturiser. M. N.

SOURCE : LAURA VALENCIA MOLINA, UNIVERSITÉ NATIONALE AUSTRALIENNE, CANBERRA.

Cette mousse pourrait survivre sur Mars

BIOLOGIE La mousse des déserts *Syntrichia caninervis (photo)* a été identifiée par des scientifiques de l'Académie chinoise des sciences comme une bonne candidate pour aider à coloniser la planète Rouge en y changeant les conditions environnementales. Capable de pousser dans des zones désertiques très rigoureuses comme l'Antarctique et les régions circumpolaires, elle a résisté aux conditions de température et de rayonnement martiennes simulées en laboratoire. **O. L.**

THE XINJIANG INSTITUTE OF ECOLOGY AND GEOGRAPHY

Moshi, l'IA qui parle aussi vite qu'un humain

INFORMATIQUE Une intelligence artificielle générative du laboratoire français Kyutai peut répondre (en anglais) par synthèse vocale en quasi-temps réel (200 millisecondes). Bâtie sur un modèle de langage et un logiciel capable de transformer des conversations écrites en sons, Moshi a notamment été pré-entraînée sur des conversations audio synthétiques. Une technologie maison de compression audio permet aussi au modèle de fonctionner en local, déconnecté des serveurs d'un prestataire. **A. D.**

378

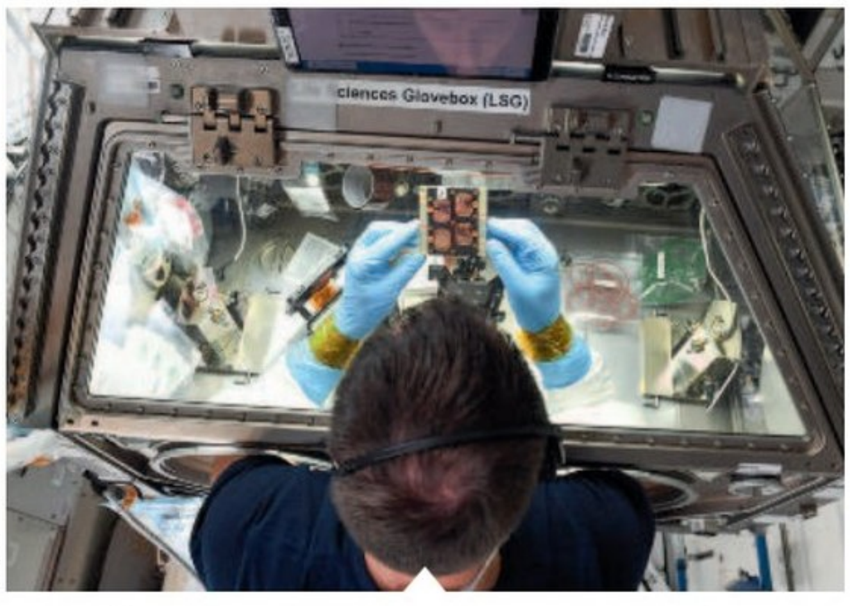
Le nombre de jours en conditions martiennes

ESPACE Libérés, délivrés : quatre scientifiques ont achevé en juillet une mission de 378 jours passés dans un habitat martien à Houston (États-Unis). Culture de légumes, marche dans du sable rouge, isolement et communication ralentie avec la Terre étaient au programme pour préparer une possible installation humaine sur la planète Rouge. **H. J.**

Un traitement pour préserver les muscles dans l'espace

SPATIAL L'étude d'échantillons de muscles cultivés à bord de la Station spatiale internationale a révélé des détails inédits sur la façon dont le manque de gravité perturbe la régénération musculaire. Ils présentaient notamment des symptômes de sarcopénie, une maladie liée à l'âge. Mais l'expérience a permis de tester des traitements prometteurs, que ce soit sur Terre ou en vue de voyages spatiaux prolongés. **M. L.**

SOURCE : SOOCHI KIM, UNIVERSITÉ STANFORD, ÉTATS-UNIS.



NASA

L'expérience a été menée à bord de l'ISS sur des puces musculaires élaborées à partir de tissus humains.

ROBERT MANDEL/SHUTTERSTOCK

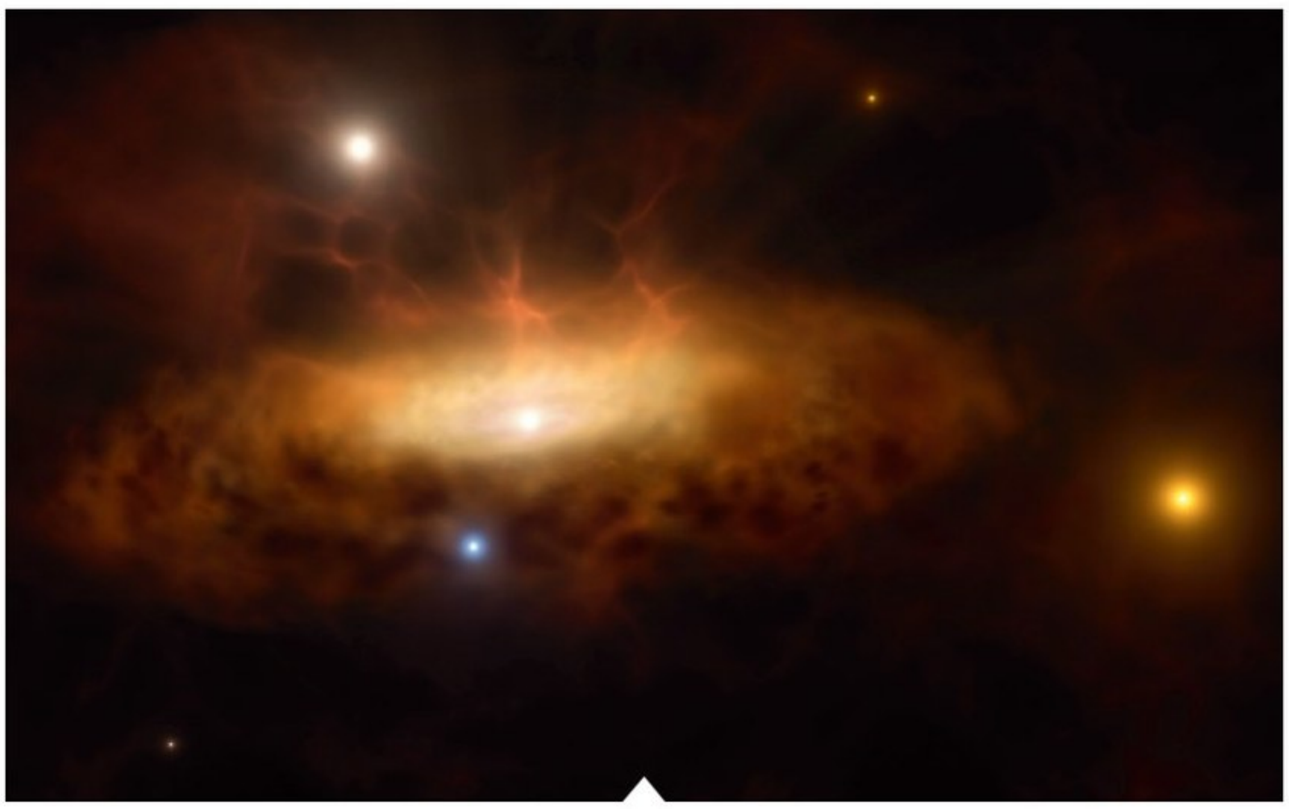
Des drones pour la recherche de personnes disparues

HIGH-TECH Un algorithme a été entraîné à générer des trajectoires probables empruntées par une personne disparue. Objectif : envoyer sur une zone de disparition un drone « intelligent » muni d'une caméra. Les simulations, basées sur des cas réels et des études sur le comportement de personnes perdues, ont donné d'excellents résultats. Mais des expérimentations en conditions réelles seront nécessaires. **A. D.**

SOURCE : JAN-HENDRIK EWERS, UNIVERSITÉ DE GLASGOW, ROYAUME-UNI.

L'éveil d'un trou noir observé en direct

Depuis 2019, ce trou noir massif ne cesse de gagner en luminosité.



M. KORNMESSER/ESO

L'illumination serait due à l'aspiration du gaz environnant par le trou noir (vue d'artiste).

Un trou noir d'un million de masses solaires s'éveille sous le regard des astronomes. L'astre est niché au cœur d'une galaxie de la constellation de la Vierge, à 300 millions d'années-lumière. Depuis décembre 2019 et une première observation réalisée par le télescope Zwicky Transient Facility aux États-Unis, il ne cesse de gagner en luminosité. Selon une étude publiée dans *Astronomy & Astrophysics*, cela correspondrait à la montée en régime du trou noir avalant le gaz qui l'environne, ce qui le fait rayonner. Pour arriver à cette conclusion, l'équipe a combiné des données d'archives et de nouvelles observations provenant de plusieurs installations au sol. Selon Lorena Hernández García, de l'université de Valparaíso au Chili, cosignataire de l'étude, *« si c'est confirmé, ce serait la première fois que nous verrions l'activation d'un trou noir massif en temps réel »*. Une donnée capitale à l'heure où les astronomes s'interrogent sur la formation et le développement de ces astres hors norme. **F. N.**

Cap sur les côtes albanaises

Du 5 au 14 avril 2025

LES CROISIÈRES DU SAVOIR SCIENCES ET AVENIR

VOS ACCOMPAGNATEURS SCIENCES ET AVENIR

Bruno David
Naturaliste, ancien président du Muséum national d'histoire naturelle, auteur de nombreux livres dont *Le Monde vivant* avec Guillaume Lecointre (Grasset, 2022).

Claude Sintès
Archéologue, conservateur en chef honoraire du patrimoine, ancien directeur du Musée départemental Arles antique, chercheur associé auprès du CNRS.

Philippe Chalmin
Professeur d'histoire économique à l'université Paris-Dauphine, président fondateur de CyclOpe, le principal institut de recherche européen sur les marchés des matières premières.

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef de Sciences et Avenir

2025 sera l'année de la mer, avec en point d'orgue la troisième « COP Océan » qui se tiendra à Nice en juin. Aussi, c'est en compagnie d'éminents spécialistes du monde marin que nous vous proposons de partir cette année en « Croisière du savoir ». Direction : la mer Ionienne et la mer Adriatique. Notre voyage partira d'Athènes pour arriver à Venise. Avec en point d'orgue l'Albanie. Située au carrefour des grandes voies antiques reliant l'Orient et l'Occident, sur la côte occidentale de la péninsule balkanique, l'Albanie est l'un des plus petits pays d'Europe mais qui a hérité d'un riche passé historique. Notre voyage sera l'occasion de découvrir certains de ses trésors antiques, avec des escales à proximité des sites archéologiques majeurs de Butrint, l'antique Bouthrôtos, et d'Apollonia d'Illyrie. Auparavant, nous irons à Corfou, grecque et vénitienne, et par la suite au Monténégro dans le golfe de Kotor, d'une surprenante beauté.

Mais les Croisières du savoir sont avant tout la promesse d'échanges culturels avec des experts scientifiques qui auront plaisir à partager vos émotions. À commencer par la participation exceptionnelle de Bruno David. Sa passion : les échinodermes, mais il possède une connaissance très fine de l'ensemble du monde marin. Il nous parlera des spécificités de la Méditerranée et de la biodiversité qu'elle abrite. Claude Sintès, connu pour avoir dirigé le Musée départemental Arles antique et pour ses fouilles en Lybie, est également un spécialiste de la navigation et de la piraterie dans l'Antiquité. Enfin, Philippe Chalmin, que d'aucuns surnomment le « pape des matières premières », nous racontera comment l'Adriatique a été au cœur du développement des échanges, du commerce international et du capitalisme marchand. *M.N.*

MS Hamburg

Notre croisière se déroulera à bord du « MS Hamburg », un navire à taille humaine n'accueillant pas plus de 380 passagers avec trois espaces de conférences. Il répond aux dernières exigences environnementales sur les carburants, l'échappement et le traitement des déchets. Il est exploité avec du diesel marin à faible teneur en soufre au lieu de l'huile lourde, conformément aux normes ISO actuelles et aux spécifications de MARPOL/OMI. Toutes les eaux usées sont traitées et purifiées avant d'être renvoyées hors du navire en qualité d'eau potable.

À partir de 2 490 €/pers.
en cabine intérieure occupée par 2 personnes, vols internationaux inclus

Jour	Escales	Arrivée	Départ
05/04	Paris / Athènes / Le Pirée (Grèce)	-	23h00
06/04	Nauplie (Grèce)	07h30	18h00
07/04	Katakolon (Grèce)	13h00	18h00
08/04	Corfou (Grèce)	07h00	00h00
09/04	Saranda (Albanie)	07h00	21h00
10/04	Vlore (Albanie)	07h00	23h00
11/04	Durres (Albanie)	07h00	20h00
12/04	Kotor (Montenegro)	07h00	11h30
13/04	Ancone (Italie)	09h00	20h00
14/04	Venise (Italie) / Paris	08h00	

photo : Apollonia d'Illyrie, Albanie

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS :

PLEIN CAP « Croisières du Savoir »
CROISIÈRES PLEIN CAP : 251 ROUTE DE LA COLLE - 06270 VILLENEUVE-LOUBET
info@plein-cap.com - Tél. 04 93 20 21 20

MARKUS VARESVUO / BIOSPHOTO

La nouvelle équation a été testée avec succès auprès des animaux nageurs et plongeurs (ici un petit pingouin).

Une équation universelle pour voler et nager

Une formule mathématique permet de prédire la fréquence des battements d'ailes nécessaire pour s'envoler, quelle que soit l'espèce considérée.

Qu'il s'agisse d'un papillon, d'un aigle, d'un moustique ou d'une chauve-souris, pour s'envoler, la fréquence des battements d'ailes d'un animal doit être proportionnelle à la racine carrée de sa masse divisée par la surface de ses ailes. Telle est l'équation universelle qu'une équipe de l'université de Roskilde (Danemark) est parvenue à formuler pour rapporter la façon dont une espèce doit battre des ailes pour se mouvoir dans les airs. Une formule étonnamment simple au vu de la diversité inouïe de poids, de tailles et de formes des ailes façonnée par l'évolution. Et pourtant : après avoir établi leur équation, les scientifiques ont testé sa précision en comparant des données récoltées sur un panel de 176 espèces d'insectes, 212 espèces d'oiseaux et 25 de chauves-souris. Résultat : la formule était correcte et cohérente à chaque fois.

Des libellules aux baleines

La constante de proportionnalité est, dans une bonne approximation, la même pour toutes les espèces : l'équation semble donc universelle. « *La constante de proportionnalité pourrait en principe être très différente selon la forme des ailes et la cinématique de vol,* explique Tina Hecksher, coautrice de l'étude publiée dans *Plos One. On pourrait imaginer que certains animaux comme les libellules ou les chauves-souris, par exemple, aient chacun une constante qui leur est propre, mais il semble que toutes les classes d'animaux ont plus ou moins la même constante.* » Plus surprenant encore : la même équation vaut aussi… pour les baleines ! « *Elle peut être utilisée avec succès pour les animaux nageurs et plongeurs* », confirme Tina Hecksher, les nageoires remplaçant les ailes. Sont exclues toutefois les espèces capables d'autoréguler leur flottabilité, comme les poissons dotés d'une vessie natatoire. Les fréquences de « vol » de quelques espèces de baleines et de pingouins ont été testées avec la formule, et, après correction de la force de la flottabilité en fonction de la masse de l'animal et de la différence de densité entre l'eau et l'air, elle a également fait ses preuves. **A. I.**

Stockholm teste un bateau volant électrique

TRANSPORT Équipé de trois foils en fibre de carbone placés sous sa coque et alimenté par une batterie au lithium, cet hydroptère semble voler au-dessus de l'eau, consommant ainsi jusqu'à 80 % d'énergie en moins qu'un bateau classique. Développé par la compagnie suédoise Candela, le bolide pouvant atteindre 55 km/h a été testé à Stockholm et pourrait, dès octobre, desservir plus rapidement un trajet très emprunté vers le centre-ville. **H. J.**

CANDELA

Candela P-12 peut s'élever à un mètre au-dessus de l'eau.

17,15 °C

Le nouveau record de température mondiale

CLIMATOLOGIE La planète ne cesse de s'échauffer : le réseau européen Copernicus, qui utilise des données satellitaires pour estimer les températures de l'air et de la mer en temps quasi réel, a calculé que le lundi 22 juillet avait été, au niveau mondial, la journée la plus chaude jamais enregistrée depuis le début des relevés en 1940. **H. J.**

72H POUR DÉCOUVRIR ET PRÉSERVER
LES TRÉSORS DE NOTRE PLANÈTE BLEUE

LE FESTIVAL

GRAND OCEAN

13-14 SEPT.

À LA CITÉ DE LA MER,
CHERBOURG-EN-COTENTIN

15 SEPT. 2024

À RÉVILLE
JOURNÉE FESTIVE
EN PLEIN AIR

& EN DIGITAL

Conférences & débats portés par les plus grands spécialistes,
animations ludiques & immersives... nous accueillons petits
et grands pour une plongée unique au cœur des océans.

www.grandocean-event.com

Partenaires Officiels

Partenaires Associés

Partenaires

Partenaire Média

Organisé par

L'installation de la pépinière flottante a été faite au large d'Ayia Napa, dans le sud-est de Chypre.

EMILY IRVING-SWIFT / AFP

Un parc photovoltaïque flottant à Sète

ÉNERGIE Après un an de test d'un programme pilote prometteur, la société montpelliéraine SolarinBlue, créée en 2019, va installer un parc photovoltaïque flottant d'un hectare à deux kilomètres au large de Sète dans l'Hérault, le premier en France. Conçue pour affronter des vents de 200 km/h et des creux de dix mètres, cette centrale devrait produire 1300 mégawattheures annuels destinés au port de commerce de la ville. **L. C.**

Une pépinière de coraux en Méditerranée

BIODIVERSITÉ Pour tenter de sauver *Cladocora caespitosa*, mis en péril par le réchauffement et le tourisme, une équipe de l'Institut marin et maritime de Chypre a lancé le premier essai de pépinière de coraux flottante en Méditerranée *(lire aussi p. 44)*. Des fragments de coraux ont été installés sur un filet immergé à 5 mètres de profondeur. Les chercheurs sauront d'ici à un an s'ils s'y développent bien. Dans ce cas, ils pourront éventuellement être transplantés sur des récifs naturels pour tenter de rétablir les écosystèmes marins de l'île. **H. J.**

Des toits blancs pour refroidir les villes

URBANISME Peindre les toits en blanc serait le meilleur moyen de lutter contre le réchauffement des villes, selon une modélisation effectuée par des chercheurs britanniques. En analysant les données météorologiques de deux journées ayant dépassé 30 °C à Londres, les toits peints en blanc auraient fait baisser la température de l'air de 1,2 °C. C'est mieux que s'ils avaient été recouverts de panneaux photovoltaïques (-0,5 °C), d'une plante grasse (0 °C) ou encore si les rues avaient été végétalisées (-0,3 °C). **P. K.**

SOURCE: OSCAR BROUSSE, UNIVERSITY COLLEGE LONDON, ROYAUME-UNI.

À VOIR SUR LE NET

AIRPARIF

La qualité de l'air à une rue près

POLLUTION L'organisme Airparif chargé de surveiller la qualité de l'air en Île-de-France a profité des jeux Olympiques pour dévoiler un nouvel outil en ligne fournissant des données sur la qualité de l'air heure par heure et pour chaque rue de la région francilienne. Il permet aux utilisateurs de connaître en temps réel les niveaux de pollution avec une précision inédite. **S. E.**

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

L'écorce des arbres absorbe le méthane

Selon une étude, elle émettrait ce gaz jusqu'à une hauteur de 1,3 mètre… avant de le réabsorber au-delà.

Les arbres ont peut-être une arme secrète pour lutter contre le réchauffement. Une étude parue dans *Nature* montre en effet que l'écorce peut absorber le méthane, deuxième gaz à effet de serre contribuant le plus au dérèglement climatique après le dioxyde de carbone. Une équipe britannique a analysé les échanges de méthane entre des arbres de forêts aux conditions hydrologiques et climatiques différentes, car ils suspectaient la présence de bactéries méthanotrophes dans leur écorce. En utilisant des chambres d'incubation, ils ont observé que l'écorce émettait du méthane jusqu'à une hauteur de 1,3 mètre… avant de le réabsorber plus en hauteur. Selon l'étude, le niveau hydrologique a également influencé l'absorption du gaz : plus un arbre était proche de l'eau et moins il absorbait de méthane. Cette découverte pourrait être un atout pour rééquilibrer le bilan de méthane mondial et protéger les forêts. Reste à savoir comment. **S. E.**

VINCENT GAUCI

24,4 à 49,9 millions de tonnes de méthane par an seraient absorbées grâce aux arbres, estiment les chercheurs (ici au Pérou).

RÊVER À NOUVEAU C'EST TOUT UN APPRENTISSAGE

Apprentis d'Auteuil aide chaque année plus de 40 000 jeunes[1] en difficulté à bâtir leur avenir.

Soutenez-nous sur www.apprentis-auteuil.org

APPRENTIS D'AUTEUIL

La confiance peut sauver l'avenir

(1) Selon le rapport d'activité Apprentis d'Auteuil 2023.

2023. Agence Marcel - © Yann Le Pape

Des dents de fer pour le dragon de Komodo

HERPÉTOLOGIE Les dents du plus grand lézard vivant ont un tranchant renforcé de fer adapté pour déchirer ses proies, révèle une étude. L'oxyde de fer concentré sur l'arête des dents la rend plus résistante à l'usure. La morphologie des dents des varans étant proche de celle des dinosaures superprédateurs, les chercheurs estiment que ces derniers avaient aussi des dents couronnées de fer. **P. K.**

SOURCE : AARON LEBLANC, KING'S COLLEGE LONDON, ROYAUME-UNI

De l'oxygène jaillit des abysses

Le gaz serait produit par électrolyse de l'eau à la surface des nodules polymétalliques qui reposent sur les fonds marins.

Les chercheurs ont d'abord cru à une défaillance de leurs instruments, mais en répétant leurs mesures, ils viennent de confirmer que de l'oxygène est produit dans le noir profond des abysses, là où toute photosynthèse est impossible. La découverte faite par une équipe internationale de biologistes partie explorer la zone de fracture Clarion Clipperton, dans les eaux internationales du nord-est de l'océan Pacifique, pourrait expliquer pourquoi celle-ci abrite une faune aussi riche que méconnue. Plutôt que de diminuer logiquement avec la profondeur, la concentration en oxygène y remonte en s'approchant du fond.

Les scientifiques supposent que le gaz est produit par électrolyse de l'eau à la surface des nodules polymétalliques *(photo ci-contre)* tant convoités pour le manganèse, le nickel et le cobalt qu'ils renferment. *« Cette découverte impose de se reposer la question : où la vie en aérobie est-elle apparue sur Terre ? »*, conclut Andrew Sweetman, premier auteur de l'étude parue dans *Nature Geoscience*. **M. N.**

CAMILLE BRIDGEWATER/NORTHWESTERN UNIVERSITY

L'ovin parvient à rester éveillé durant l'examen.

Des moutons dressés pour passer des IRM

ÉTHOLOGIE Les moutons sont capables d'apprendre des tâches complexes. C'est ce qu'a montré une équipe française en parvenant à dresser des moutons à passer des IRM tout en restant éveillés, une première mondiale. Jusqu'ici, les études de neuro-imagerie animale nécessitaient en effet d'anesthésier les ovins, incapables de supporter le stress de l'examen. Mais l'étude menée sur 10 moutons de la bergerie de Nouzilly (Val-de-Loire) a permis d'acquérir des images de leur cerveau d'aussi bonne qualité. **H. J.**

SOURCE : CAMILLE PLUCHOT, UNIVERSITÉ DE TOURS, FRANCE.

CAMILLE PLUCHOT ET SCOTT LOVE/INRAE

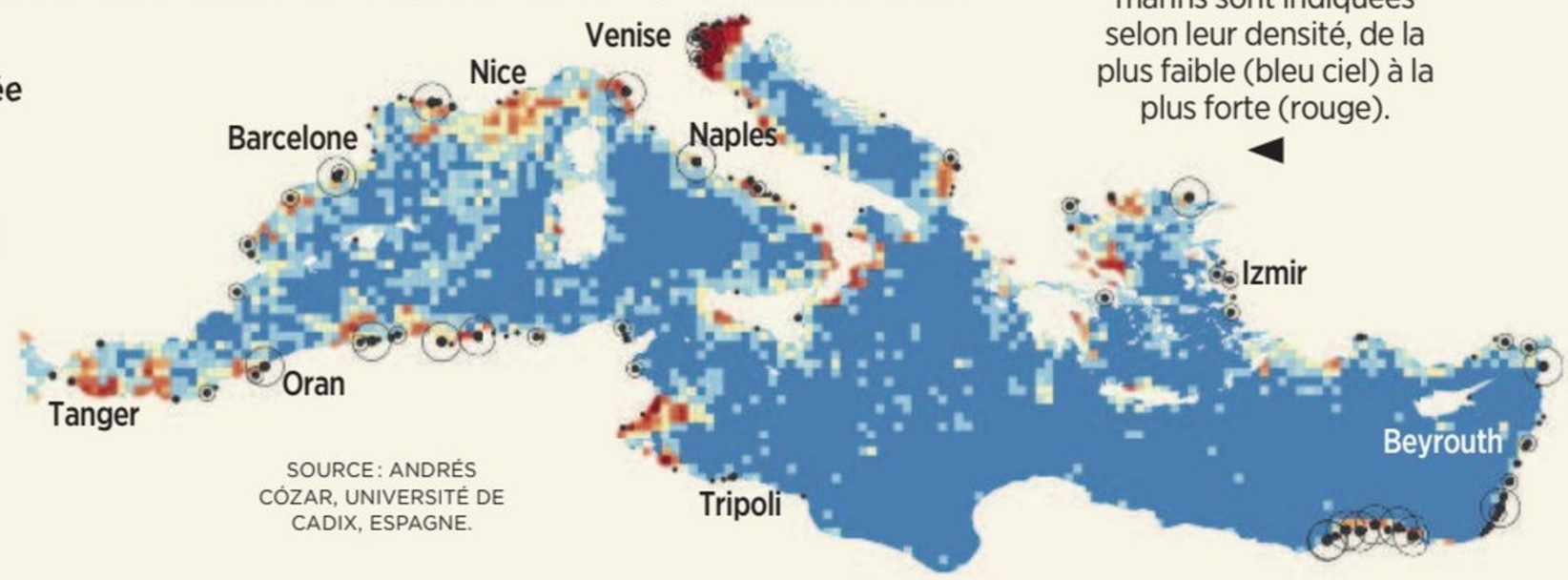
51 %

La part de poissons issus de l'aquaculture

HALIEUTIQUE Pour la première fois, la production aquacole a dépassé la pêche dans la part de produits animaux aquatiques utilisés pour la consommation humaine dans le monde. Une bascule révélée par un rapport de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). **H. J.**

Première cartographie satellite des déchets en Méditerranée

POLLUTION **Un inventaire des amas de plastiques flottant dans la mer Méditerranée a été réalisé avec le satellite Sentinel-2 du programme européen Copernicus. Après six ans d'observation du rayonnement infrarouge émis par ces détritus largement majoritaires, plus de 14 000 bandes de déchets plastiques de plus de 10 mètres ont été détectées, d'une longueur moyenne de 1 km. Ce premier relevé expérimental devrait servir à mieux gérer la pollution plastique et comprendre les courants marins en Méditerranée. P. K.**



Les bandes de détritus marins sont indiquées selon leur densité, de la plus faible (bleu ciel) à la plus forte (rouge).

SOURCE : ANDRÉS CÓZAR, UNIVERSITÉ DE CADIX, ESPAGNE.

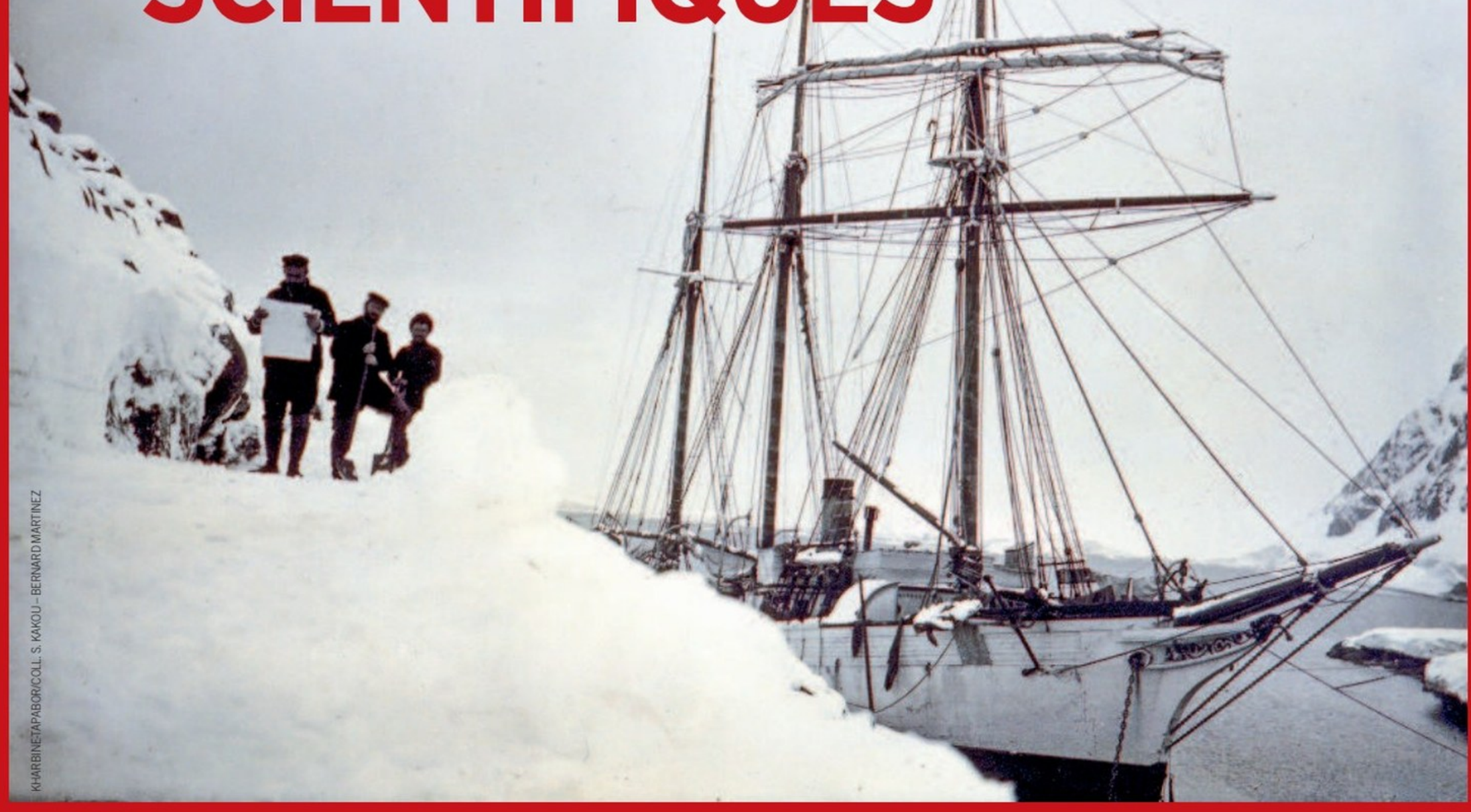
CÓZAR ET AL. (2024) / ESA

SCIENCES ET AVENIR
LES DOSSIERS

LES DOSSIERS

SCIENCES ET AVENIR

LES GRANDES EXPÉDITIONS SCIENTIFIQUES



KHARBINE-TAPABOR/COLL. S. KAKOU – BERNARD MARTINEZ

« Géographie, botanique, zoologie, ethnologie… Les savants qui accompagnent Bougainville, Cook ou La Pérouse s'intéressent à tout »

Christian Grataloup, géohistorien

+ EN 2024, L'AVENTURE CONTINUE…

en vente en kiosque

NARDUS ENGELBRECHT/AP/SIPA

Le lénacapavir est un médicament injectable de prévention du VIH (ici dans un laboratoire sud-africain en juillet).

Le virus du sida enfin mis en échec

Un antiviral déjà commercialisé pour les patients souffrant d'une infection résistante a été testé avec succès pour prévenir le VIH.

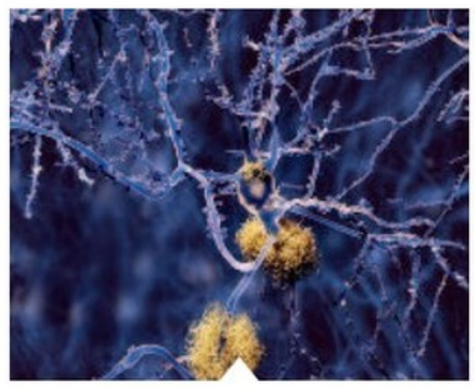
Une efficacité de 100 % pour éviter l'infection, c'est l'impressionnant résultat obtenu par un essai clinique de phase 3 testant une nouvelle stratégie de protection contre le virus du sida. Il ne s'agit pas d'un vaccin, mais d'un antiviral, le lénacapavir, commercialisé depuis deux ans par le laboratoire Gilead Sciences pour les patients souffrant déjà d'une infection résistante aux autres traitements. Ici, ce thérapeutique de dernière ligne a donc été testé comme moyen de prévention. Avec un atout majeur sur les autres techniques de prophylaxie pré-exposition au VIH, dites Prep: seulement une injection tous les six mois a suffi pour protéger les femmes incluses dans l'essai, contre un comprimé oral quotidien habituellement pour les Truvada et Descovy déjà utilisés aujourd'hui. Surtout, le niveau de protection s'est révélé supérieur à ces deux médicaments.

Un simple rappel tous les six mois

L'essai a été mené en Afrique du Sud et en Ouganda sur 5338 jeunes femmes âgées de 16 à 25 ans séparées en trois groupes: l'un prenant une dose quotidienne de Truvada, le deuxième de Descovy, tandis que le troisième groupe (2134 participantes) recevait une injection de lénacapavir toutes les 26 semaines. Résultat: 39 infections ont été rapportées dans le groupe Descovy (2136 participantes) et 16 dans le groupe Truvada (1068 participantes)… mais aucune chez les femmes sous lénacapavir. L'essai a même été arrêté prématurément pour permettre à toutes les participantes de bénéficier des injections. La présentation des résultats publiés dans le *New England Journal of Medicine* lors de la conférence AIDS 2024 fin juillet à Munich (Allemagne) a valu une ovation à la chercheuse sud-africaine Linda-Gail Bekker. Dans la revue *Science*, Chris Beyrer, épidémiologiste à la tête du Duke Global Health Institute (États-Unis), a résumé la situation: « *Imaginez qu'il existe un vaccin efficace à 100 % chez les femmes et qu'il faille un rappel tous les six mois. Vous diriez: ça y est, nous avons enfin un outil pouvant mettre fin à cette épidémie.* » C'est ce que fait cet antiviral. ■ **H. J.**

L'Europe refuse le traitement contre Alzheimer

NEUROLOGIE Autorisé aux États-Unis en janvier 2023, le Leqembi commercialisé par les laboratoires Biogen et Eisai, qui avait montré une légère efficacité contre le déclin cognitif dans la maladie d'Alzheimer, a fait l'objet d'un avis négatif de l'Agence européenne du médicament. En cause: un bénéfice trop modeste qui ne contrebalance pas des effets indésirables graves, en particulier le risque de saignements cérébraux. **C. L.**



SPL / BSIP

Le Leqembi cible les plaques amyloïdes (en jaune) dans le cerveau, un signe d'Alzheimer.

IL A DIT

« Le test sanguin a prédit la maladie de Parkinson jusqu'à sept ans avant l'apparition des symptômes moteurs typiques »

Dr Michael Bartl, neurologue au centre médical universitaire de Göttingen (Allemagne), dont l'équipe a identifié un cocktail de huit protéines sanguines prédictives d'un futur Parkinson, ouvrant la piste d'une prise en charge précoce de la maladie.

Un vaccin anti-zona retarderait la démence

NEUROLOGIE Dernier vaccin conçu pour réduire le risque de survenue d'un zona chez les personnes âgées *(lire* S. et A. *n° 928)*, le Shingrix (laboratoires GSK) permettrait aussi de retarder d'environ cinq mois l'apparition de la démence. C'est la surprenante conclusion d'une étude menée chez quelque 200 000 personnes, qui accrédite une hypothèse déjà formulée en 2022. **S. R.-M.**

SOURCE : MAXIME TAQUET, UNIVERSITÉ D'OXFORD, ROYAUME-UNI.

Des neurones pour exosquelettes intelligents

INGÉNIERIE Afin d'accélérer le développement d'exosquelettes « intelligents » pouvant être utilisés en vie réelle, une équipe a développé trois réseaux de neurones interconnectés. Chacun d'entre eux simule le mouvement humain, la coordination musculaire et le contrôle de l'exosquelette pour effectuer des millions d'essais sur ordinateur et mieux gérer l'interaction humain-robot. **H. J.**

SOURCE : S. LUO, UNIVERSITÉ D'ÉTAT DE CAROLINE DU NORD, ÉTATS-UNIS.

HAO SU / NC STATE UNIVERSITY

AGROBACTER / GETTY IMAGES

Le 2-désoxy-D-ribose (2dDR) appliqué en gel sur le cuir chevelu pourrait stimuler leur croissance.

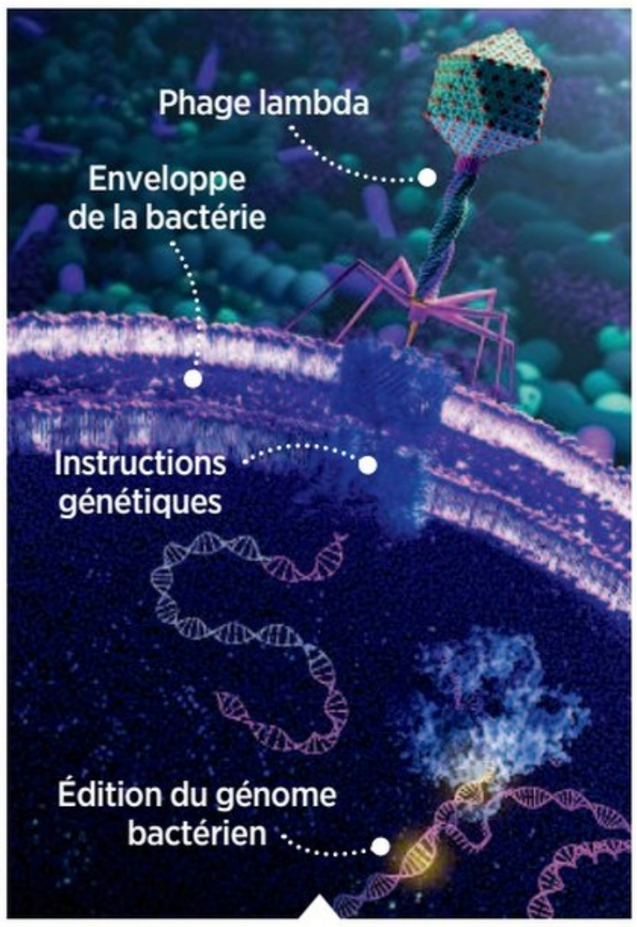
Un sucre contre la calvitie

DERMATOLOGIE Selon une étude internationale menée à ce jour uniquement chez la souris, l'application d'un sucre sous forme de gel sur le cuir chevelu suffirait à faire repousser les poils sur la tonsure. Plus précisément, le 2-désoxy-D-ribose (2dDR), un constituant jouant un rôle fondamental dans divers processus biologiques chez les animaux comme les humains, a permis de favoriser la croissance des poils des rongeurs et la formation de nouveaux vaisseaux sanguins. **S. R.-M.**

SOURCE : MUHAMMAD AWAIS ANJUM, UNIVERSITÉ D'ISLAMABAD, PAKISTAN.

EN DEUX MOTS

AUDITION Une étude américaine montre qu'il est possible de régénérer les synapses des cellules auditives transformant les sons en messages neuronaux pour rétablir l'audition. **BRONCHIOLITE** La Haute Autorité de santé recommande désormais aux plus de 75 ans de se vacciner contre le virus respiratoire syncytial (VRS) à l'origine de la bronchiolite. **CARDIOLOGIE** Selon une étude menée chez l'humain, l'érythritol, utilisé comme substitut au sucre, accroît le risque de formation de caillots dans le sang.



ELIGO BIOSCIENCE

Un virus bactériophage est utilisé pour éditer génétiquement certaines bactéries intestinales.

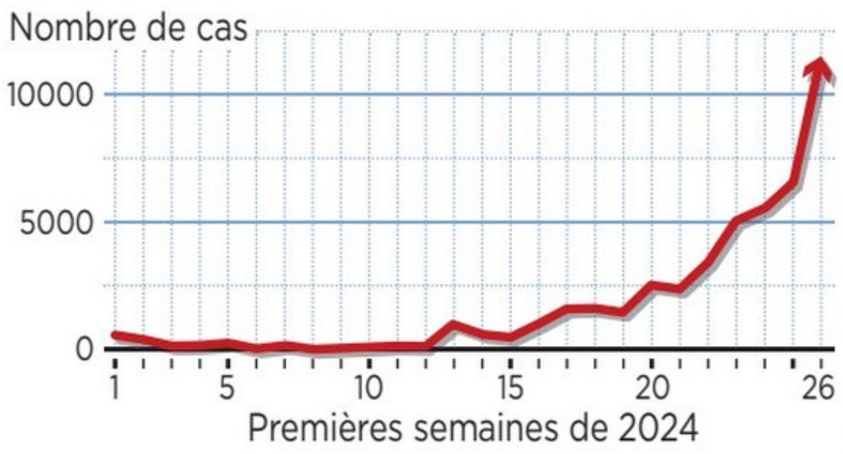
Une thérapie génique appliquée au microbiote

Des chercheurs ont utilisé un virus pour inactiver un gène de la bactérie « E. coli » chez des souris.

Modifier génétiquement la flore bactérienne intestinale, c'est possible ! C'est ce que démontre une équipe de la start-up française Eligo Biosciences qui a testé sa stratégie chez la souris. Les scientifiques ont utilisé pour cela un virus répandu chez les bactéries, le phage lambda, afin qu'il cible un type de bactérie bien précis sans le détruire. Dans ce vecteur viral, ils ont introduit les instructions génétiques pour inactiver précisément et uniquement un gène de la bactérie *Escherichia coli* : celui de la colibactine, une toxine suspectée de provoquer des cancers du côlon. Quand des souris ont absorbé le phage, le gène ciblé a été inactivé de manière durable dans toutes les bactéries intestinales produisant la toxine. Cette méthode peut être transposée à d'autres cibles bactériennes toxiques, ce qui pourrait par exemple éviter de recourir à des antibiotiques. Son application à l'humain est envisageable, indiquent les chercheurs. **P. K.**

Nouvelles recommandations contre l'explosion de coqueluche

INFECTIOLOGIE Face à la recrudescence des cas de coqueluche observée ces derniers mois, la Haute Autorité de santé recommande un rappel de vaccination aux personnes pouvant être en contact rapproché avec des nourrissons de moins de 6 mois. Sur les 17 décès dus à la bactérie *Bordetella pertussis* en 2024, 12 étaient des nouveau-nés de moins de 2 mois, non éligibles à la vaccination. **H. J.**



L'incidence hebdomadaire de la coqueluche est en forte hausse dans l'Hexagone depuis le début de l'année.

BRUNO BOURGEOIS; SOURCE: RÉSEAU SANTINELLE

La dépigmentation, typique de la maladie, entraîne l'apparition de zones blanches sur la peau.

MIDDLESEX HOSPITAL / SPL / SUCRÉ SALÉ

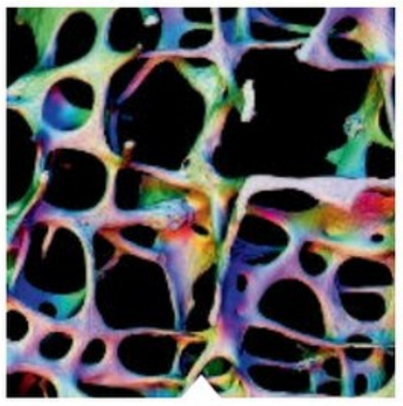
La crème anti-vitiligo arrive en pharmacie

DERMATOLOGIE Premier traitement efficace contre le vitiligo, l'Opzelura (laboratoire Incyte) est disponible en pharmacie depuis le 27 juillet. Remboursée à 65 %, cette crème s'applique deux fois par jour sur les lésions dépigmentées caractéristiques de la maladie. Son mécanisme d'action spécifique permet de reproduire de la mélanine, le pigment naturel de l'épiderme, et de recolorer la peau après au moins six mois de traitement sur la plupart des lésions. **H. J.**

Une hormone pour consolider les os

ENDOCRINOLOGIE Malgré une baisse d'œstrogènes qui tend à fragiliser les os, en particulier chez les femmes ménopausées, les femmes allaitantes conservent une bonne santé osseuse. Cette observation a permis aux chercheurs d'identifier dans le cerveau de ces dernières une hormone, CCN3, qui pourrait contribuer à solidifier les os fragiles, notamment chez les personnes souffrant d'ostéoporose. **C. L.**

SOURCE : M. BABEY, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE, ÉTATS-UNIS.



WELLCOME BOYDE/BSIP

Tissu osseux d'une femme atteinte d'ostéoporose.

Le mécanisme de la migraine décrypté

La douleur apparaît dans le cerveau quand certains agents pathogènes parviennent à franchir la barrière hémato-encéphalique.

Une équipe de l'université de Copenhague (Danemark) est parvenue à élucider la façon dont se propage la douleur dans le cerveau lorsqu'on souffre de migraines précédées d'auras (une vision brouillée, doublée ou avec des flashs lumineux). Pas évident en effet, puisqu'en principe, l'organe est insensible à la douleur. En temps normal, la barrière hémato-encéphalique protège le cerveau des agents pathogènes, des toxines et des hormones circulant dans le sang. Mais les chercheurs se sont aperçus que dans le cadre des migraines, ce filtre n'est plus si sélectif que ça. Les protéines pro-inflammatoires libérées dans le cerveau lors de l'aura sont en fait transportées dans le liquide céphalo-rachidien avant d'arriver au ganglion trigéminal. Or justement, ce dernier est un centre nerveux clé du corps humain, responsable des douleurs perçues sur la face et la tête. Une fois passées de l'autre côté de la barrière, les protéines relâchées par l'aura viennent activer les neurones sensoriels du ganglion. Et la douleur fait son apparition. **C. L.**

BSIP / SPL

La taille des pupilles varie avec la respiration

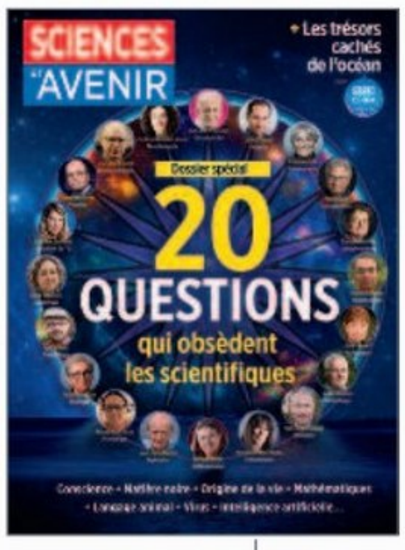
OPHTALMOLOGIE Nos pupilles sont plus petites au tout début de l'inspiration, puis grossissent pour atteindre leur taille maximale lorsque nous commençons à expirer. Elles rétrécissent alors rapidement jusqu'à la fin de l'expiration. Insolite, cette observation inédite a été faite sur 100 volontaires à l'aide d'une caméra spécialisée. **H. J.**

SOURCE : MARTIN SCHAEFER, INSTITUT KAROLINSKA, SUÈDE.

REJOIGNEZ **LE PREMIER PÔLE SCIENTIFIQUE** DE LA PRESSE FRANÇAISE

SCIENCES ET AVENIR

LE MENSUEL



LE HORS-SÉRIE

UNE INFORMATION THÉMATIQUE CLAIRE ET VIVANTE

Chaque trimestre, une thématique étudiée sous tous ses aspects, en compagnie des plus grands spécialistes.

UNE VISION COMPLÈTE DE LA SCIENCE

Chaque mois, toute l'actualité scientifique, dans un langage accessible.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur sciencesetavenir.fr

39 JOURNALISTES PASSIONNÉS

19 PARUTIONS PAR AN

2,5 MILLIONS DE LECTEURS

2,6 MILLIONS DE SOCIO-NAUTES

7,3 MILLIONS DE VISITEURS SUR LE SITE

3 APPLICATIONS IOS/ANDROID

La Recherche

LE TRIMESTRIEL

LA RÉFÉRENCE INCONTOURNABLE

Chaque trimestre, un panorama complet en 150 pages de la recherche scientifique.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur larecherche.fr

2 SITES POUR DES INFOS EXCLUSIVES

TOUTE L'ACTUALITE SCIENTIFIQUE QUOTIDIENNE

2 sites au service de l'actualité scientifique, de la plus accessible à la plus innovante. **Des articles quotidiens** pour être à la pointe de la science.

Vos questions en direct aux chercheurs sur notre chaîne Twitch https://www.twitch.tv/sciencesetavenir/

plus de 2,2 millions de fans !	plus de 160 000 followers	plus de 163 000 instagrammeurs	Plus de 7 000 abonnés professionnels	plus de 17 000 abonnés

PROMINT-SCAV2

La prouesse des chercheurs est une étape cruciale dans la reconstruction du génome du mammouth laineux (illustration).

Des chromosomes de mammouth reconstitués

Première mondiale : le génome d'un animal disparu a pu être reproduit en 3D avec ses structures chromosomiques.

C'est une nouvelle ère de la paléogénétique qui s'ouvre : pour la première fois, des chercheurs ont pu récupérer des chromosomes fossiles entiers de mammouth laineux. L'équipe internationale à l'origine de la découverte s'est appuyée sur les échantillons d'un spécimen exceptionnellement bien préservé, exhumé dans le nord-est de la Sibérie en 2018. *« Nous pensons qu'il s'est spontanément lyophilisé peu de temps après sa mort »*, a expliqué Olga Dudchenko, du Centre pour l'architecture du génome du Collège de médecine Baylor, au Texas (États-Unis). Cette déshydratation conjuguée au froid polaire a comme vitrifié ses cellules avec tout leur contenu, dont l'ADN du noyau. Pour examiner ce trésor génétique, les chercheurs ont développé une technique, PaleoHi-C, permettant de détecter les sections d'ADN susceptibles d'être à proximité spatiale et d'interagir les unes avec les autres. De quoi reproduire un modèle de l'arrangement en trois dimensions des molécules.

28 chromosomes comme les éléphants modernes

Le résultat a été au-dessus de toutes leurs espérances puisqu'ils ont pu reconstituer le caryotype entier de l'animal ! L'article publié dans la revue *Cell* révèle ainsi que le mammouth laineux, comme les éléphants modernes, possédait 28 chromosomes et que c'est de l'éléphant d'Asie (*Elephas maximus*) qu'il était le plus proche. Les chromosomes glacés de ce mammouth vont désormais être examinés par d'autres équipes plus spécialisées encore. Une étape décisive pour faire aboutir les projets de « désextinction » de l'animal ? Pas sûr, car l'étude ne porte que sur des cellules de peau. Pour comprendre pleinement le génome de cet animal, il faudrait pouvoir étudier l'expression génétique d'autres types cellulaires (cerveau, organes, muscles…). Chose possible désormais, à condition d'avoir du matériel d'aussi bonne qualité. ■ **J. I.**

SCIEPRO / SCIENCE PHOTO LIBRARY / SUCRÉ SALÉ

IL A DIT

« La sismicité pendant l'éruption a sans doute influencé les choix des Pompéiens qui étaient confrontés à une mort inévitable »

Domenico Sparice, volcanologue à l'Observatoire du Vésuve (INGV), en Italie, a montré que nombre d'habitants de Pompéi seraient morts dans des effondrements dus à l'activité sismique provoquée par l'éruption du Vésuve en l'an 79, avant même l'arrivée des courants pyroclastiques.

À Atapuerca, de nouveaux restes d'« H. antecessor »

PALÉOANTHROPOLOGIE

Le site de la Sierra de Atapuerca, en Espagne, a livré de nouveaux restes osseux d'*Homo antecessor*, ancêtre probable (et cannibale) de *sapiens* et de Neandertal qui vivait il y a entre 1,2 million d'années et 600 000 ans. Datés de 850 000 ans environ, ces restes émergent 30 ans après la découverte au même endroit de cette espèce d'*Homo* — la plus ancienne décrite à ce jour en Europe. Parmi eux, des fragments de crâne et l'incisive d'une femme âgée d'environ 25 ans. **M. B.**

SOURCE : EUDALD CARBONELL, UNIVERSITÉ ROVIRA I VIRGILI, ESPAGNE.

MARIA D. GUILLÉN / IPHES_CERCA

L'incisive mise au jour a été datée de 850 000 ans environ.

PROBLÈME DE CUIR CHEVELU : UNE RÉPONSE UNIQUE

Grâce à sa formule complète, **Liperol soulage efficacement**. Pellicules, squames, démangeaisons, cuir chevelu sensible et sec : **Liperol** rétablit le pH, réduit la prolifération fongique, restaure la barrière cutanée, respecte le microbiote, apaise et hydrate. Haute tolérance, sa mousse légère et son nettoyage micellaire permettent une utilisation **adaptée à tous les besoins et pour toute la famille.**

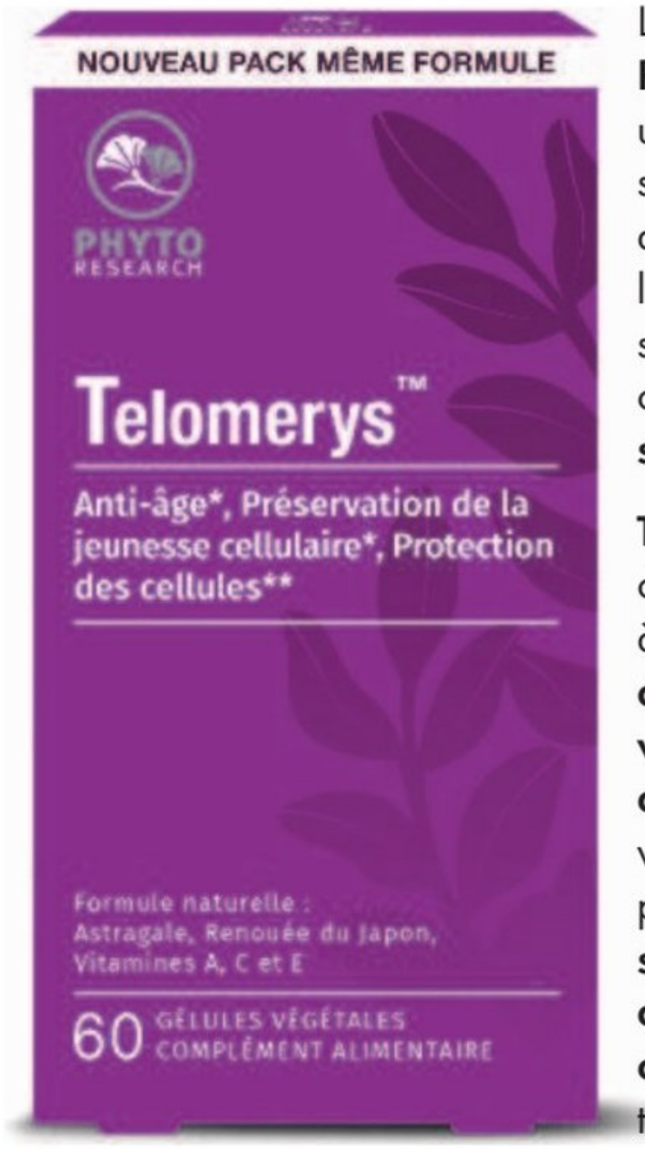
● Laboratoire DERMEAL - PPI 14,50€ le flacon de 200 ml.
En pharmacie et sur liperol.fr

NOCICEPTOL GEL ANTI-DOULEUR : N°1 DES PRESCRIPTIONS MÉDICALES EN FRANCE(1)

Soulagez vos douleurs avec ce Gel aux huiles essentielles, efficace : scientifiquement prouvé !
(Étude in-vivo, 12POGAD02, nov. 2013).

● Dispositif Médical CE - lire les instructions avant utilisation.
(1) GERSDATA-SOG EARLY - NOCICEPTOL GEL A-OUL TB120ML1 - 340102035445
Distribution pharmacie - sous prescription - En France CMA fév. 2023
Laboratoire POLIDIS - www.nociceptol.fr
Disponible en Pharmacie : 40ml 120ml 200ml 500ml.

INNOVATION ANTI-ÂGE



Le laboratoire français **PhytoResearch** a mis au point une **formule naturelle** basée sur les résultats des dernières avancées scientifiques sur l'astragaloside IV, une substance issue de l'Astragale capable de **ralentir le vieillissement cellulaire.**

Telomerys associe un extrait concentré de racine d'Astragale à du resvératrol, un **puissant antioxydant**, ainsi que des **vitamines A, C et E**. **Formule anti-âge inédite**, deux gélules végétales par jour suffisent pour constater **une diminution significative des rides**, une **amélioration des fonctions cognitives** (mémoire, concentration) et un **regain d'énergie**.

● En pharmacie - Boîte de 60 gélules végétales - ACL 6024256 - Convient aux végétaliens - Plus d'infos au 01 83 96 83 01 (tarif local) - telomerys.com

STOP AU CHOLESTÉROL

Et si vous pouviez enfin faire baisser votre taux de mauvais cholestérol ?

ControlStérol aide à **réguler naturellement les taux de « bon » et « mauvais » cholestérol** (HDL et LDL) grâce à une combinaison **unique** d'extraits concentrés d'Ail noir et de Cannelle de Ceylan, associés à une souche brevetée de ferments lactiques, des vitamines et des nutriments essentiels.

Une gélule « jour » et une gélule « nuit » aident à **diminuer le « mauvais » cholestérol** LDL (qui favorise la formation de plaques lorsqu'il est en excès), limitant le risque cardiovasculaire associé, tout en **augmentant le « bon » cholestérol** HDL. **Une solution naturelle, simple, efficace !**

■ ControlStérol boîte 60 gélules végétales (30 gélules « jour » & 30 gélules « nuit ») ACL 6260490. En pharmacie et sur www.controlsterol.com - Plus d'infos au 01 83 96 83 01 (tarif local)

ACOUPHÈNES, VERTIGES, REFLUX, BOUFFÉES DE CHALEUR, MORAL EN BERNE, RONFLEMENTS ???

Découvrez la gamme AUDISTIMPHARMA !
(Acouphènes : Audistim / Vertiges : Audistim équilibre / Reflux : Mucodistim / Moral, Bouffées de chaleur : Safrastim+ Triple Action/ Ronflements : Ronchostim).
A l'efficacité scientifiquement prouvée, **AUDISTIMPHARMA vous soulage !**

● En pharmacie, sur audistimpharma.com et au téléphone : 05 56 69 13 84

BOUCHE SÈCHE, SENSIBLE, DOULOUREUSE ? L'INNOVATION OZALYS !

Un bain de bouche unique à l'acide hyaluronique qui **fortifie la muqueuse buccale, cicatrise, hydrate et apaise**. Sans alcool, sans menthol, le Soin Confort ne pique pas, **respecte la flore buccale**, ne tâche pas les dents.
Formulé sous contrôle odontologique, le **Soin Confort** est un soin de Haute Conception de la marque Ozalys, récompensée par **8 prix d'excellence**.

● Pharmacies & partenaires agréés.
Découvrez notre gamme, boutique en ligne sur ozalys.com

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE
Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

Découverte d'une « Pompéi » des trilobites

Un nouveau site au Maroc révèle des spécimens d'arthropodes avec des détails exceptionnels.

ABDERRAZAK EL ALBANI / UNIVERSITÉ DE POITIERS.

Surpris par la lave il y a 515 millions d'années, les arthropodes ont pu dévoiler leurs moindres traits anatomiques (vue d'artiste).

Ensevelis par des nuées ardentes, les trilobites d'Aït Youb, au Maroc, ont été préservés pendant 515 millions d'années et se dévoilent aujourd'hui dans un état de conservation sans équivalent dans le monde. Une découverte qui a fait la une de *Science*. Comme à Pompéi (Italie), c'est un volcan qui est à l'origine de cette préservation. « *La chaleur de l'éruption a fait fondre la matière organique, mais les cendres solidifiées ont conservé les moindres détails* » de l'anatomie des trilobites, explique Abderrazak El Albani, géologue à l'université de Poitiers ayant dirigé l'équipe internationale à l'origine de la découverte. Pour la première fois, il a été possible d'identifier une quatrième paire de pattes spécialisées autour de la bouche de ces arthropodes, alors que les spécialistes pensaient qu'il n'y en avait que trois. Les chercheurs ont même pu accéder à leur anatomie interne, les cendres ingérées par certains ayant figé leur tube digestif. **J. I.**

SAHAR SALEEM

L'agonie révélée de la « momie hurlante »

ÉGYPTOLOGIE Ce n'est pas un embaumement de mauvaise qualité qui a laissé à cette momie son expression faciale hurlante, mais vraisemblablement l'intense douleur d'un spasme cadavérique lors de la mort de cette femme d'environ 50 ans il y a 2500 ans. C'est ce qui ressort d'une analyse extrêmement poussée de la momie conservée au Musée égyptien du Caire. **H. J.**

SOURCE : SAHAR SALEEM, UNIVERSITÉ DU CAIRE, ÉGYPTE.

4200 ans

L'âge de la domestication du cheval

PALÉOGÉNÉTIQUE De nouvelles analyses d'ADN ancien révèlent que l'intégration généralisée des chevaux domestiques dans les sociétés humaines n'aurait commencé qu'il y a 4200 ans environ dans les steppes occidentales de Russie. Leur élevage aurait toutefois débuté il y a 5500 ans pour leur viande et leur lait avant qu'ils ne servent de monture. **R. M.**

SOURCE : LUDOVIC ORLANDO, CNRS, FRANCE.

Une épave de l'âge du bronze au large d'Israël

ARCHÉOLOGIE Le navire marchand gisait par 1500 mètres de fond à 90 kilomètres au nord des côtes d'Israël depuis près de 3500 ans. L'épave a été découverte par la société énergétique Energean qui explorait les fonds. Sa cargaison était composée de centaines d'amphores utilisées pour le stockage du vin ou de l'huile d'olive. « *C'est une découverte historique d'ampleur mondiale* », s'est réjoui Jacob Sharvit, le chef de l'unité maritime de l'Autorité des antiquités israélienne. **H. J.**

AUTORITÉ ISRAÉLIENNE DES ANTIQUITÉS / AFP

Les amphores trouvées par centaines dans le navire sont étudiées par les chercheurs.

Des huttes funéraires bâties avec le sang de sacrifiés

ARCHÉOLOGIE La légende dit qu'au XIXe siècle, le roi Ghézo du Dahomey (sud de l'actuel Bénin) a fait construire une hutte sacrée avec le sang de 41 victimes sacrifiées selon un rituel vaudou. C'est vrai ! Des analyses protéomiques ont révélé la trace, dans la paroi d'une des huttes, d'au moins 49 protéines humaines, dont de l'hémoglobine… Mais aussi 21 protéines de coqs domestiques. **S. de L.**

SOURCE : PHILIPPE CHARLIER, UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY, FRANCE.

Aux origines du riz en Chine

ARCHÉOBOTANIQUE Les grandes étapes de la domestication du riz sauvage dans le bassin du fleuve Yangtsé (Chine) ont été retracées par l'étude des restes dans le sol de phytolithes, des concrétions de silice issues de la plante présentes depuis au moins 100 000 ans. Il y a 24 000 ans, les phytolithes se concentrent et changent de répartition, signe d'une première exploitation du riz. Il y a 11 000 ans, une brusque modification dans l'aspect des phytolithes marque l'apparition de la plante domestiquée pour être cultivée. **P. K.**

SOURCE : J. ZHANG, ACADÉMIE CHINOISE DES SCIENCES.

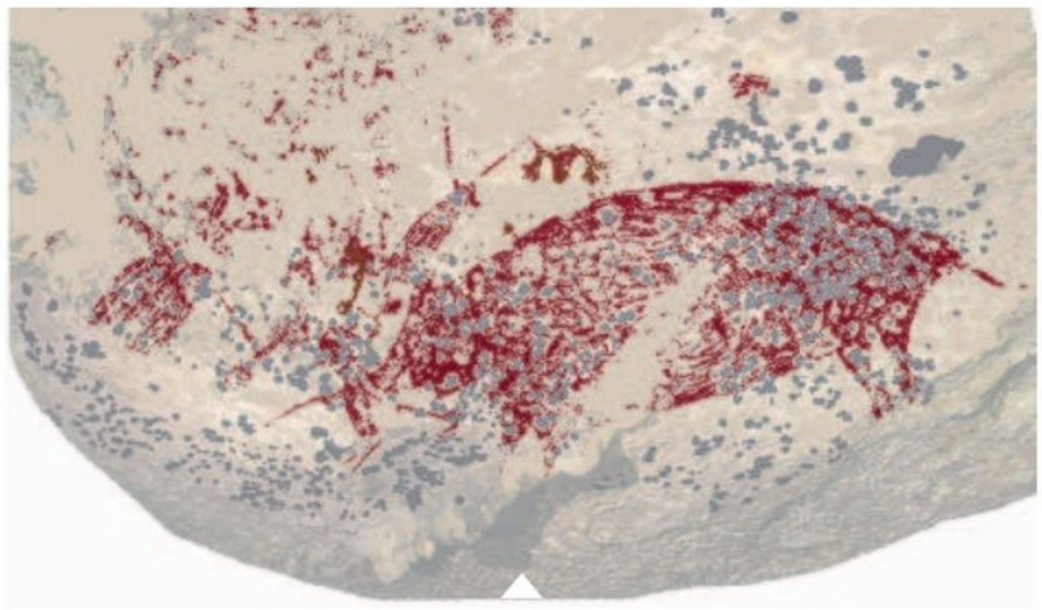
FRABRIZIO LAVEZZI

« Lokiceratops rangiformis » vivait il y a environ 78 millions d'années.

Loki, le dinosaure aux cornes géantes

PALÉONTOLOGIE 6,7 mètres de long pour environ 5 tonnes : *Lokiceratops rangiformis* joue dans la cour des gros. C'est un lointain cousin du *Triceratops* mais il vivait bien avant lui, il y a 78 millions d'années environ. Son fossile a été découvert dans la formation Judith-River, au nord du Montana (États-Unis). **J. I.**

SOURCE : MARK LOEWEN, UNIVERSITÉ D'UTAH, ÉTATS-UNIS.



UNIVERSITÉ GRIFFITH/ AFP

Sur la paroi de la grotte de Leang Karampuang (Indonésie) ont été représentés trois figures humaines (à gauche) et un cochon sauvage.

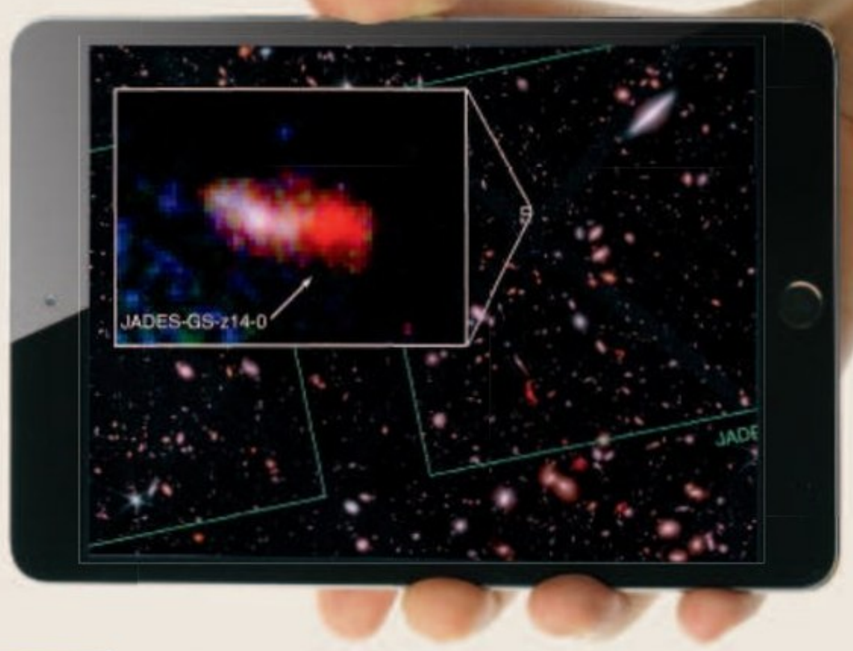
Un cochon comme plus ancienne peinture figurative

ANTHROPOLOGIE Un gros cochon rouge entouré par trois figures humaines : telle est la scène qui constituerait la plus ancienne preuve de narration connue. La peinture, visible sur une paroi de la grotte de Leang Karampuang, en Indonésie, aurait été réalisée il y a au moins 51 200 ans, soit plus de 16 000 ans avant Chauvet, en France. Le précédent record était détenu par une scène de chasse identifiée en 2019 dans une autre grotte indonésienne et datée à -44 000 ans. **M. B.**

SOURCE : ADHI OKTAVIANA, UNIVERSITÉ GRIFFITH, AUSTRALIE.

L'actualité se poursuit sur Internet

www.sciencesetavenir.fr - www.larecherche.fr



JWT/ESA/ NASA - VESTA ELEUTERI - TAO CHEN ET AL./ MIT - THIERRY LE FOUILLE/SIPA

OBSERVATION

À l'aube du cosmos

De nouvelles observations du télescope spatial James-Webb ont visé une galaxie et une fusion de trous noirs situées aux confins de l'Univers observable. Elles apportent de nouvelles informations sur l'aube cosmique, période de réionisation de l'Univers. Décryptage sur le site de *La Recherche*. **https://bit.ly/3Ajt7Js**

QUOTIDIEN

L'actu des sciences en ultrabrèves

Chaque jour, dès 17 heures, retrouvez sur le site de *Sciences et Avenir* les immanquables de l'actualité scientifique en format ultracourt. **sciav.fr/931bref**

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

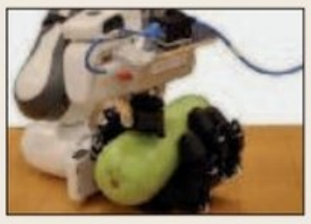
2 minutes

Les éléphants se saluent en vidéo

Des zoologistes ont mené une étude au Zimbabwe sur les différents rituels observés par ces pachydermes du continent africain pour se dire bonjour. **sciav.fr/931eleph**

5 minutes

Le robot qui pèle les courges



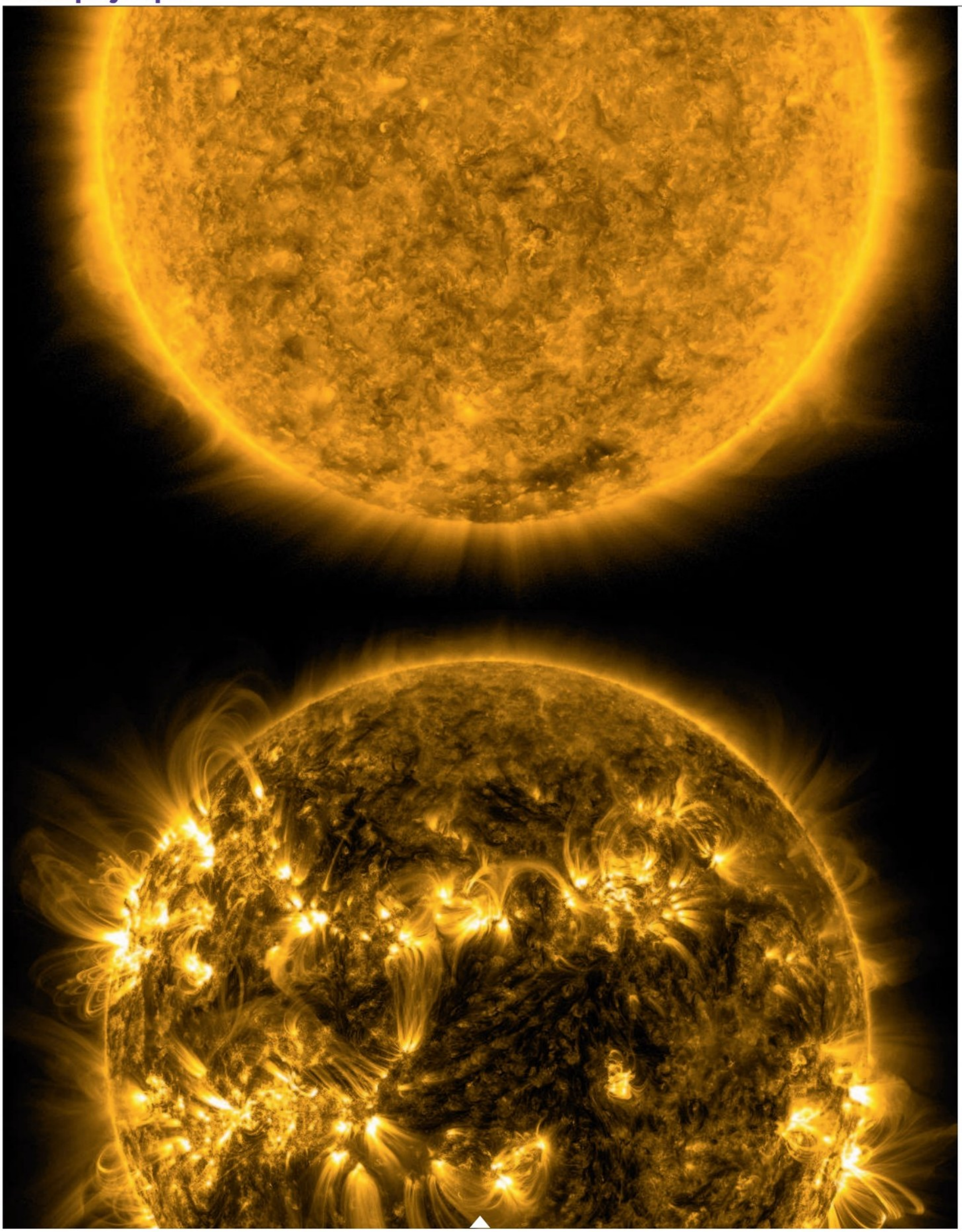
Le MIT (États-Unis) a conçu un système fait de deux bras robotisés capables de peler le légume en autonomie. Démonstration en vidéo. **sciav.fr/931courge**

10 minutes

Les JO vus par la science

Surf, saut à la perche, marathon en fauteuil roulant... Quatre physiciens décryptent en vidéo la physique des sportifs *(lire aussi p. 91)*. **sciav.fr/931jop**

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook



NASA/SDO

Le Soleil connaît actuellement un enchaînement d'éruptions puissantes (en bas celle du 11 mai photographiée par l'Observatoire de la dynamique solaire de la Nasa). Celles-ci libèrent des particules de haute énergie, dont les plus rapides atteignent la Terre en moins de dix minutes.

Alerte à la tempête solaire

Le pic d'activité solaire enregistré cette année a provoqué de superbes aurores sous nos latitudes mais il a aussi perturbé nombre d'infrastructures technologiques. Comment protéger les satellites, les astronautes ou même les passagers d'un avion ? La météo du Soleil est encore à ses balbutiements car les comportements de notre étoile restent très difficiles à modéliser.

Par Franck Daninos

Des milliers de milliards de tonnes de particules énergétiques ont balayé notre planète les 10 et 11 mai derniers. Elles résultaient de gigantesques éruptions à la surface de notre étoile, au niveau de « taches solaires » notamment, dont certaines étaient 17 fois plus grandes que le diamètre de la Terre. *« Cela faisait plus de vingt ans qu'un phénomène d'une telle intensité n'avait pas été enregistré »*, s'ébahit Thierry Dudok de Wit, du Laboratoire de physique et chimie de l'environnement et de l'espace, à l'université d'Orléans. En interagissant avec l'atmosphère terrestre, ces particules ont suscité de magnifiques aurores à des latitudes inhabituellement basses : en France, par exemple, et jusqu'aux îles Canaries dans l'hémisphère Nord, en Namibie ou en Uruguay pour l'hémisphère Sud.

Mais les exhalaisons du Soleil ont perturbé aussi diverses infrastructures technologiques. De l'aveu d'Elon Musk, patron du fournisseur d'accès à Internet Starlink, ses constellations de satellites ont subi ainsi *« d'énormes pressions »* dégradant la qualité des services. Aux États-Unis, des tracteurs guidés par le système de positionnement GPS ont tourné en rond pendant plusieurs heures, tandis que l'alimentation de lignes à haute tension en Nouvelle-Zélande a été interrompue. Les communications radio ont été en outre parasitées dans le Nord-Est asiatique ; et plusieurs compagnies aériennes ont dû dérouter leurs avions. *« Toutes les répercussions ne sont pas encore connues, les avaries étant dévoilées au*

compte-goutte », observe Thierry Dudok de Wit. Mais ce n'est rien au regard de ce qu'une tempête solaire dix à cent fois plus puissante pourrait provoquer… comme des satellites anéantis par milliers ou un black-out à l'échelle d'un continent ! « *Nous savons que des événements solaires extrêmes ont eu lieu par le passé* », alerte le physicien. La question n'est donc pas tant de savoir s'ils se produiront à nouveau, mais à quel moment. Et ce qu'il faudrait faire, surtout, pour s'en protéger.

Une soupe de particules électriquement chargées

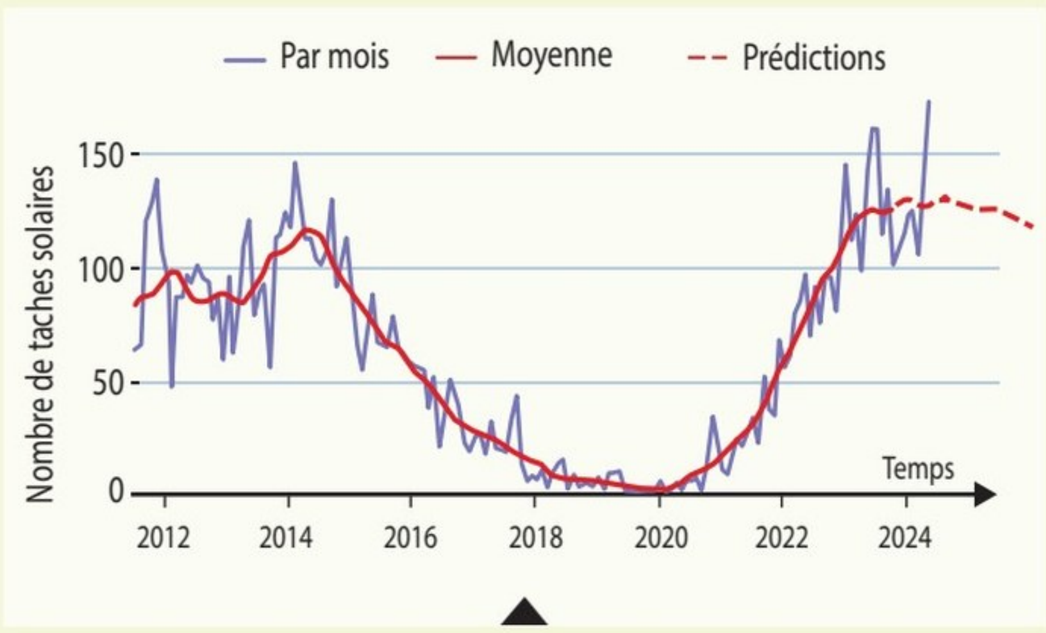
Pour comprendre, rappelons que l'activité du Soleil est régie essentiellement par son champ magnétique. Notre astre est constitué d'une soupe de particules électriquement chargées, protons et électrons, qui en s'agitant dans ses profondeurs créent des « lignes de champ ». En période calme, celles-ci sont bien organisées, comme autour d'un aimant : elles vont d'une région polaire à une autre où se situent les pôles magnétiques nord et sud. Mais en raison de la structure en couches du Soleil et de sa rotation, les lignes se distordent peu à peu. Elles finissent par former des boucles qui percent la surface de l'étoile, créant ainsi des zones particulièrement actives et magnétisées : les fameuses taches sombres. « *Celles-ci apparaissent d'abord aux latitudes élevées. De plus en plus nombreuses, elles migrent aussi progressivement vers l'équateur* », explique Jean Lilensten, chercheur à l'Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble. Le champ magnétique du Soleil est alors extrêmement complexe et entortillé. Jusqu'à soudainement s'inverser, le pôle nord magnétique basculant au sud et réciproquement. Après ce basculement, les lignes de champ se restructureront peu à peu pour reformer un dipôle stable. Il n'y aura alors quasiment aucune tache à la surface du Soleil, avant qu'un nouveau cycle débute. « *Entre deux pics d'activité, il se sera écoulé de 9 à 13 ans* », précise Jean Lilensten.

Or, nous nous trouvons, actuellement, au beau milieu d'un maximum solaire *(lire l'encadré ci-dessous)*. Et c'est durant cette période, « *s'étalant sur une ou deux années, que les zones actives ont le plus de probabilités d'engendrer des éruptions et d'impacter la Terre* », souligne Olivier Katz, prévisionniste au Centre opérationnel de météorologie de l'espace des Alpes (Comea), fondé en 2023 par Jean Lilensten. Les boucles magnétiques jaillissant au niveau des taches piègent en effet des quantités faramineuses de particules solaires, semblables à des arches de feu. Or, celles-ci peuvent « craquer » lorsqu'elles sont trop pleines, suscitant alors divers phénomènes. À commencer par des flashs de rayons X, gamma et ultraviolets. « *Se déplaçant à la vitesse de la lumière, ils ne mettront que 8 minutes*

OBSERVATIONS

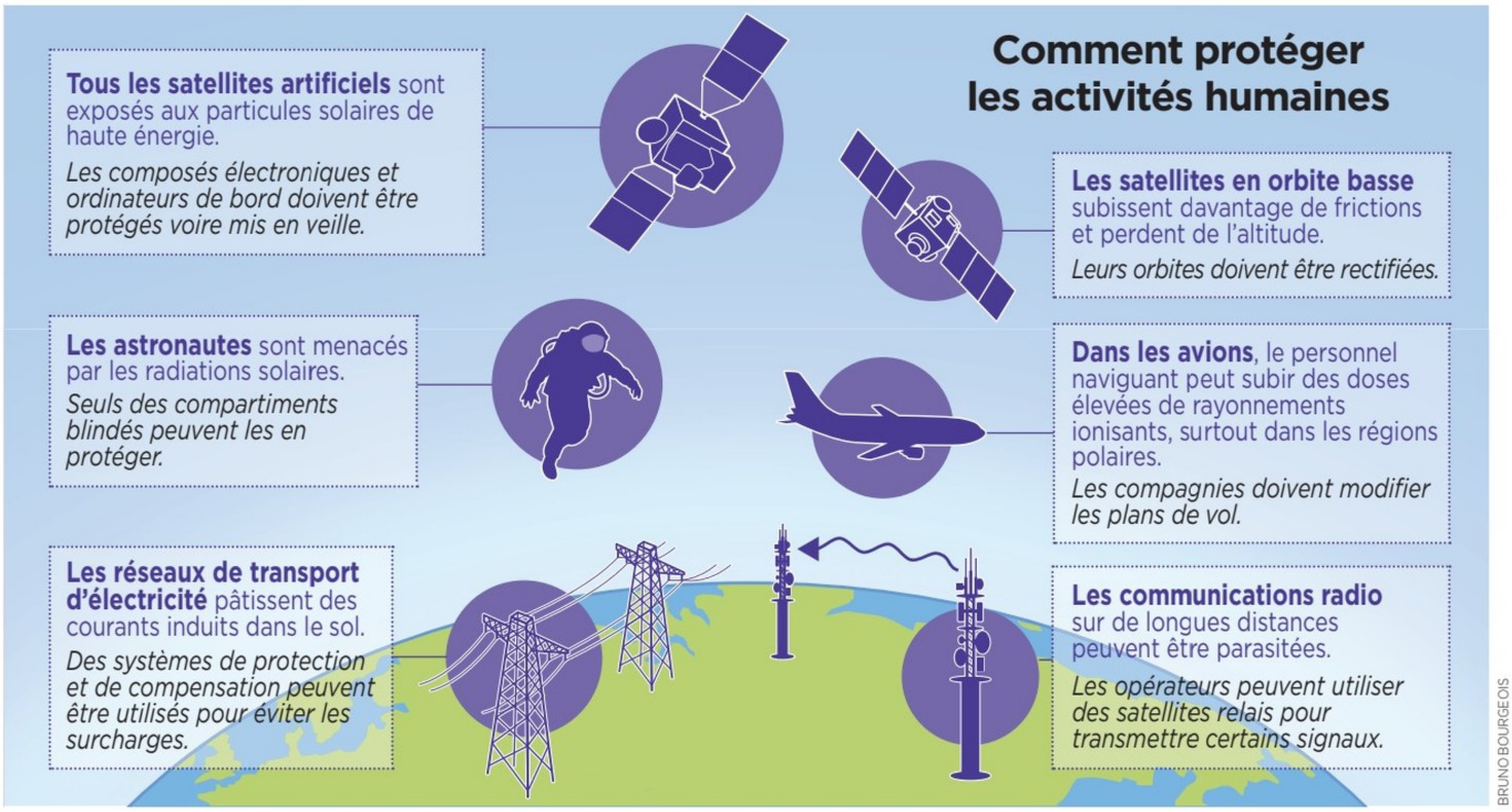
À l'affût du pic d'activité

Le cycle solaire actuel (25e du nom selon un décompte remontant au XVIIIe siècle) a déjoué tous les pronostics. Lorsqu'il a débuté en décembre 2019, l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (Noaa) estimait qu'il serait similaire au cycle précédent, donc d'une intensité assez faible. Et que son pic d'activité, qui correspond à l'inversion du champ magnétique du Soleil, se produirait dans cette fourchette très large : entre fin 2024 et début 2026, avec un nombre maximal de taches solaires compris entre 95 et 130. Mais les comportements de notre étoile s'avèrent encore très difficiles à mettre en boîte. « *Ce cycle est bien plus précoce et plus fort qu'attendu, le nombre de taches approchant plutôt 180 depuis mai* », observe l'astrophysicien Thierry Dudok de Wit. Dès octobre 2023, la Noaa avait d'ailleurs révisé ses prédictions, anticipant un pic entre janvier et octobre 2024. « *Au CEA, nous penchons plutôt pour l'automne 2024* », augure l'astronome Barbara Perri. Le verdict ne sera connu qu'environ six mois après le passage du pic ; il faudra en effet croiser « *quantité de données sur le champ magnétique du Soleil ainsi que sur le nombre et la configuration des taches* », précise la chercheuse.



Évolution du nombre de taches solaires observées chaque mois (en bleu) ou rapportées à une moyenne (en rouge), de 2012 à juillet 2024.

BRUNO BOURGEOIS - SOURCE: OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE



à parcourir les 150 millions de kilomètres qui nous séparent du Soleil », précise Olivier Katz. La plupart du temps, ces flashs seront accompagnés de particules énergétiques — protons, neutrons, électrons — rejoignant la Terre en quelques dizaines de minutes. Enfin, les éruptions les plus importantes pourront propulser d'immenses bulles de gaz ionisé appelées « éjections coronales de masse », qui atteindront notre planète après un à quatre jours de voyage. *« Le champ magnétique terrestre déviera une grande partie des particules solaires,* poursuit Olivier Katz. *Mais environ 10 % se retrouveront rapidement dans l'environnement spatial de la Terre.* » Avec de possibles dommages, en premier lieu, sur les satellites artificiels. Car ces rayonnements peuvent altérer les circuits électroniques, ordinateurs et panneaux solaires des objets spatiaux (télécommunications, géolocalisation, etc.). En chauffant et dilatant la haute atmosphère, ils accentuent également les forces de friction sur les engins en orbite, en les faisant ralentir et éventuellement chuter vers la Terre. En 2022, 38 satellites de Starlink se sont ainsi désintégrés après un orage magnétique, pour un coût estimé à plusieurs millions de dollars.

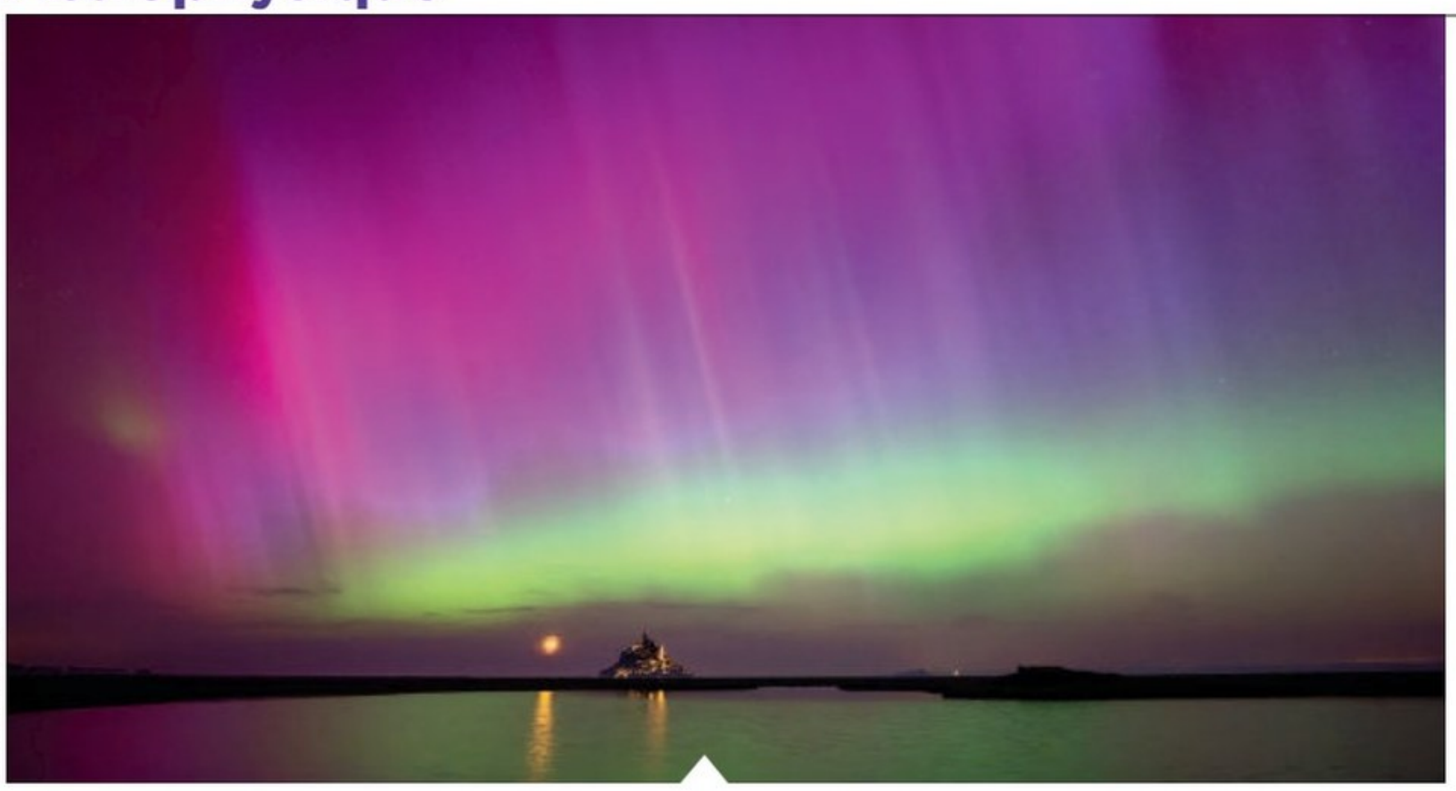
Les astronautes courent eux aussi de réels dangers. *« En 1972, une éruption survenue peu après la mission lunaire Apollo 16 aurait pu mettre en péril l'équipage,* relève Barbara Perri, chercheuse en météorologie de l'espace pour le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). *Et en cas d'alerte, les astronautes de la Station spatiale internationale devront se réfugier aussi vite que possible dans des compartiments blindés.* » Dans les avions, le personnel navigant est lui aussi menacé par des doses élevées et répétées d'irradiations, pour les vols circulant autour des régions polaires notamment, où les particules solaires s'engouffrent. D'où la décision de les dérouter lors d'un évènement solaire majeur.

Les infrastructures au sol ne sont pas épargnées. En amplifiant les courants électriques dans l'ionosphère (de 80 et 1000 km d'altitude), les bouffées du Soleil en induisent en effet à leur tour dans la croûte terrestre, surtout au sein des terrains géologiques riches en eau salée et argile. *« S'ils croisent une ligne électrique déployée sur de longues distances, ces courants pourront alors s'y propager, créer des surcharges et détruire les transformateurs* », indique Barbara Perri. C'est ce qui s'est passé en 1989 au Québec (Canada) : six millions de personnes ont été privées ▶

MICHIEL DEVIJVER

« Et en cas d'alerte, les astronautes de l'ISS devront se réfugier aussi vite que possible dans des compartiments blindés »

Barbara Perri, chercheuse en météorologie de l'espace pour le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)



MATHIEU RIVRIN/GLAZ PICTURES

Des aurores boréales ont été observées en mai à des latitudes inhabituellement basses un peu partout dans le monde (ici au Mont-Saint-Michel).

d'électricité pendant plusieurs heures, causant 13 milliards de dollars de dégâts ! Ce phénomène est connu depuis le milieu du XIXe siècle. En 1859, une gigantesque tempête solaire, produisant des aurores jusqu'aux régions tropicales, avait en effet induit des courants détraquant les réseaux télégraphiques. « *Certains sont devenus inopérants, d'autres ont pris feu, d'autres encore ont transmis des messages alors qu'ils étaient éteints* », rapporte Barbara Perri. Connue sous le nom d'événement Carrington, « *c'est la plus forte tempête géomagnétique de l'ère moderne à être bien documentée* ». Selon certains calculs, de telles manifestations se produiraient « *tous les 150 à 200 ans, même si les barres d'erreur sont très grandes* », reconnaît Olivier Katz. Les dommages qu'elles feraient subir aux sociétés technologiques actuelles sont également très difficiles à anticiper. Ils pourraient être toutefois monstrueux tant nous sommes devenus dépendants des infrastructures satellitaires et électriques alimentant nos hôpitaux, systèmes de navigation ou circuits financiers. En 2013, une étude de Lloyd's of London, géant britannique de l'assurance, estimait qu'un événement de type Carrington pourrait coûter ainsi… 2600 milliards de dollars ! « *Les courtiers ont bien conscience des risques encourus, pour assurer les satellites commerciaux notamment* », pose Jean Lilensten. Mais les efforts de sensibilisation visent de nombreux autres secteurs, comme les centrales nucléaires raccordées aux réseaux électriques. « *Il ne s'agit pas de faire peur,* insiste Jean Lilensten. *Une catastrophe industrielle résulte souvent, par ailleurs, de multiples facteurs. Notre démarche consiste ainsi à mieux faire comprendre les enjeux de la météorologie de l'espace afin qu'elle soit considérée comme un aléa supplémentaire.* » Même si ce type de risques, selon Thierry Dudok de Wit, n'est « *pas encore suffisamment pris au sérieux* », le physicien constate que d'importants progrès ont été réalisés depuis une dizaine d'années. Les satellites sont mieux protégés « *grâce à des blindages ceignant les composants sensibles, au dédoublement des ordinateurs de bord ou en éteignant les instruments lors des périodes critiques* », détaille-t-il. Certains réseaux de transport d'électricité sont également plus robustes. Au Canada ou en Nouvelle-Zélande, ils disposent désormais de nombreux capteurs repérant d'éventuelles surcharges, ainsi que de systèmes de compensation répartissant plus sûrement l'électricité. « *Toutes ces mesures ont sans doute permis d'atténuer les effets de la tempête solaire du mois de mai* », se réjouit Barbara Perri.

Le satellite Vigil permettra d'améliorer les prédictions

Les capacités de prédiction demeurent cependant l'une des principales faiblesses. « *Il est pour le moment extrêmement difficile de prévoir si une zone de taches solaires engendrera une éruption,* admet Olivier Katz. *Sans parler de son intensité ou ses répercussions précises sur l'environnement terrestre. Nous établissons certes des probabilités, des périodes à risque et affinons nos modèles. Mais ceux-ci restent très imparfaits car la physique balbutie et nous manquons de données.* » D'ici à quelques années, les scientifiques pourront compter toutefois sur un précieux allié : un satellite de l'Agence spatiale européenne dont la construction vient tout juste de débuter et qui sera posté en 2031 entre le Soleil et la Terre, à 1,5 million de kilomètres de celle-ci. Baptisé Vigil, il sera le premier observatoire spatial à examiner les flux de particules solaires depuis le « côté ». Un point de vue idéal pour analyser leurs caractéristiques, lancer des alertes précoces et nous protéger plus efficacement des colères de notre étoile. ■

MESURES

Éruption record il y a 14 300 ans

Les traces d'une éruption solaire titanesque ont été identifiées l'année dernière près de Gap (Hautes-Alpes). En analysant les cernes d'arbres « subfossiles » sur les 15 000 dernières années, des chercheurs français ont découvert un pic très abrupt de carbone 14 dans des échantillons datant de 14 300 ans. Cet isotope se forme lorsque les rayons cosmiques percutent les atomes d'azote 14 de la haute atmosphère. Mais les concentrations mises au jour ne peuvent résulter de cet unique phénomène. Seule explication, corroborée par d'autres mesures dans les glaces du Groenland : une éruption solaire libérant des quantités phénoménales de particules énergétiques dans notre atmosphère. Cette tempête géomagnétique serait la plus violente connue à ce jour : au moins cent fois plus qu'en 1859, lorsque des aurores boréales avaient été observées jusqu'au Panama.

JISHEN ZHANG/ ESPCI

Les capteurs de ces smartphones suspendus mesurent précisément l'intensité, la taille et la vitesse de rafales de vent artificiel (expérience menée par des chercheurs de l'ESPCI à la soufflerie de Saint-Cyr-l'École).

Le smartphone, outil de science

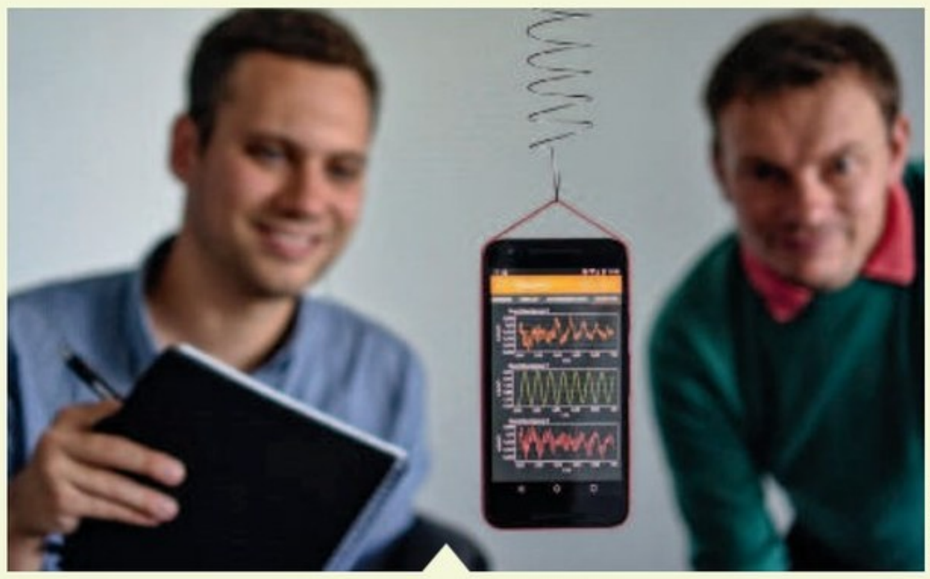
Gyroscope, accéléromètre, baromètre, capteur de champ magnétique, de luminosité, de proximité… Les puces des smartphones intéressent les scientifiques pour des expériences et des mesures à faible coût.

Dans le hangar de la soufflerie de Saint-Cyr-l'École (Yvelines), une soixantaine de smartphones sont suspendus comme sur un fil à linge. Lorsque les ventilateurs géants se mettent en marche, cette guirlande hors du commun se met à onduler au gré du vent, tout en enregistrant très fidèlement son propre mouvement. Accélération, vitesse angulaire et orientation, autant de données qui vont permettre de mesurer très précisément le passage des rafales de vent artificiel, leur intensité, leur taille et leur vitesse grâce aux capteurs internes de chacun des smartphones. « *L'astuce ici, c'est qu'on utilise le téléphone à la fois comme expérience et comme instrument de mesure* », explique Stéphane Perrard, chercheur à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI). L'expérience aurait pu être faite avec des plaques métalliques et de la captation vidéo, mais elle aurait été bien plus laborieuse. L'équipe d'ingénieurs physiciens a donc opté pour le smartphone comme outil de mesure, et elle n'est pas la première. Des scientifiques de tous horizons, séduits par les bonnes performances des capteurs de nos téléphones, commencent à les utiliser pour des applications allant de la médecine au génie civil en passant par ▸

APPLICATION

À vous de jouer les Newton et Tesla...

Curieux de faire des mesures précises à votre tour ? Votre smartphone prend déjà des mesures physiques en permanence. Grâce à l'accéléromètre et au capteur à effet Hall, il est possible par exemple de mesurer la gravité terrestre ou le champ magnétique. Ainsi l'application PhyPhox, créée par l'École supérieure polytechnique de Rhénanie-Westphalie (Allemagne) et traduite en français par des chercheurs de l'université Paris-Saclay, permet d'accéder aux données brutes des capteurs d'un smartphone. Posez votre téléphone bien à plat, sur une table par exemple, et lancez une mesure « accélération avec g » en cliquant sur le bouton « play ». Le troisième graphe « accélération selon z » vous permet de lire directement la constante de gravitation (g pour les physiciens). Sa valeur théorique est 9,81 m/s². Pour le champ magnétique, ouvrez le magnétomètre et dans l'onglet « norme », lisez la valeur du champ magnétique à l'endroit où vous vous trouvez. Il vaut en moyenne 47 microteslas en France, mais dépend de l'endroit où vous vous trouvez sur la Terre (plus fort aux Pôles qu'à l'équateur) et de la présence d'aimants autour de vous. Éloignez-vous au maximum des objets électroménagers.



PHYPHOX

L'application PhyPhox permet d'accéder aux données brutes des capteurs d'un smartphone.

l'enseignement. Le faible coût, la qualité et la polyvalence de nos petits bijoux technologiques de poche pourraient bien leur valoir une place de choix au palmarès des instruments scientifiques dans les prochaines années.

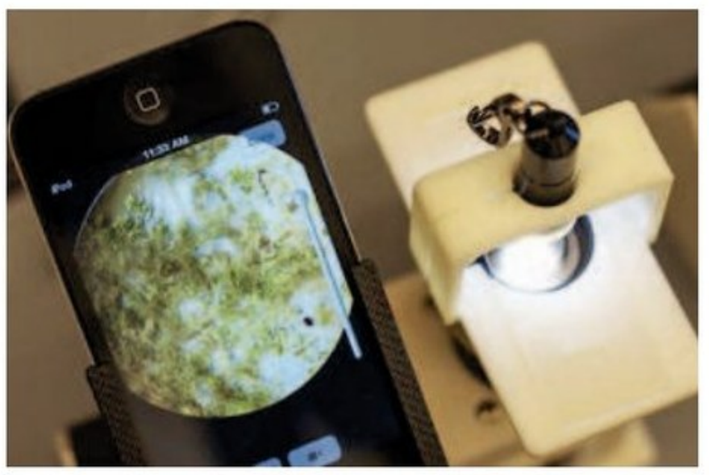
Miniaturisé et tout-en-un, le smartphone est idéal pour des mesures de terrain. C'est cet aspect qui a décidé Stéphane Perrard et son collègue Antonin Eddi à franchir le pas en achetant 65 smartphones pour faire des mesures diverses, allant de la géophysique à l'aérodynamique. En plus de leurs expériences d'aérodynamique en soufflerie, le duo de chercheurs flirte avec les géosciences lors de campagnes de terrain sur la banquise canadienne. Leur but ? Mieux comprendre comment la glace se brise sous l'effet des vagues, une donnée importante pour modéliser le climat à l'échelle planétaire. Jusque-là, ils empruntaient du matériel spécialisé à des collègues géologues, mais leurs premiers essais avec les téléphones semblent prometteurs. « *Pour mesurer le mouvement de la glace sous l'effet des vagues, ça marche très bien,* se félicite Stéphane Perrard à son retour de mission. *Pour le moment, ça remplace les bouées de vagues.* » Des équipements qui coûtent autour de 1000 euros chacun, contre une centaine pour les téléphones choisis par l'équipe, qui espère bientôt pouvoir également se passer de géophones, des appareils qui détectent des vibrations plus rapides.

Mesurer à un stade précoce les vibrations infimes d'un pont

Trouver une alternative à des équipements techniques spécialisés, qui sont souvent coûteux, est une des raisons principales qui motivent les chercheurs. L'équipe de Paolo Santi, chercheur en génie civil au Massachusetts Institute of Technology (États-Unis), a conçu une méthode pour estimer l'état de santé d'un pont simplement en roulant dessus avec un téléphone à bord du véhicule. « *On utilise l'accéléromètre et le gyroscope, qui sont des éléments standard dans tous les smartphones aujourd'hui* », détaille le chercheur. Grâce à ces capteurs, les scientifiques mesurent les vibrations infimes du pont, dont la moindre modification alerte sur une dégradation de l'ouvrage, même à un stade très précoce, qui ne serait pas détectée par une inspection classique. « *La première chose était de tester la précision des capteurs. On a fait une expérience dans la voiture en mettant des smartphones de différentes marques et modèles à côté d'un accéléromètre professionnel (un capteur qui, à lui seul, coûte environ 1000 dollars) et on a vu que les capteurs des smartphones étaient très bons, du moins pour ce qu'on voulait faire* », s'enthousiasme notre interlocuteur.

Cette nouvelle méthode pourrait à terme remplacer les campagnes d'inspection visuelle annuelles qui constituent à l'heure actuelle la surveillance la plus courante mais ne détectent que des dommages avancés. Les ouvrages pourraient de surcroît bénéficier d'une veille continue grâce à un suivi collec-

SALAITA LAB, EMORY UNIVERSITY - C. MANLY-FIELDS/BIOENGINEERING DEPARTMENT, UC BERKELEY



Le CellScope est un microscope portable utilisant l'optique d'un smartphone standard. Son efficacité a été démontrée pour diagnostiquer des maladies infectieuses, notamment dans des pays en développement qui ne peuvent se procurer des microscopes de recherche.

tif, par exemple si chaque voiture traversant le pont avec un smartphone à son bord était en capacité d'envoyer des données scientifiques collectées à son passage du pont, sur un principe que l'équipe de Paolo Santi a testé en Italie en utilisant les téléphones professionnels des équipes de surveillance routière.

L'avantage ultime du smartphone est peut-être de se trouver dans toutes les poches. Plus de 60 % de la population mondiale en possède un et ce chiffre grimpe jusqu'à 87 % en France, soit plusieurs milliards de capteurs sophistiqués actifs ou activables à travers le monde. Un potentiel énorme, notamment dans les pays en développement où l'accès à du matériel scientifique de pointe est souvent limité. C'est dans cette optique que Daniel Fletcher, chercheur à l'université de Californie à Berkeley (États-Unis), a inventé le CellScope. Utilisé à des fins médicales sur des terrains parfois reculés, son microscope portable basé sur un smartphone a reçu le soutien de la fondation Bill & Melinda Gates. « *Le projet initial était d'utiliser la microscopie mobile pour détecter la présence de parasites filaires dans les échantillons sanguins. C'est important pour savoir si on peut donner un médicament afin de traiter une autre maladie, la cécité des rivières. On a donc créé un instrument qui pouvait rapidement quantifier le nombre de parasites présents dans les échantillons sanguins* », détaille le chercheur. Le dispositif a fait ses preuves lors de collaborations académiques au Cameroun et au Viêt Nam notamment, et plusieurs études de terrain ont démontré son efficacité pour diagnostiquer des maladies infectieuses, oculaires, et même dernièrement, pour détecter le Covid-19. « *Je pense qu'il y a un gros potentiel pour rendre la microscopie accessible et disponible dans des pays où il n'y a pas les moyens de se procurer les gros microscopes de recherche* », note Daniel Fletcher.

C'est également en échangeant avec des étudiants étrangers que Régis Barille, enseignant-chercheur à l'IUT d'Angers (Maine-et-Loire) et auteur du livre *La Physique avec son téléphone portable*, a imaginé des travaux pratiques à faire sur smartphone. « *En Afrique, on pourrait faire de tels TP parce que quasiment tout le monde a un téléphone, mais il y a un manque de matériel pour ces exercices* », explique le physicien.

Si l'utilisation de smartphones ne fait pas encore l'unanimité dans le monde de la recherche, cette méthode originale semble néanmoins avoir de beaux jours devant elle. ■ **Marie-Cécilia Duvernoy**

POUR EN SAVOIR PLUS

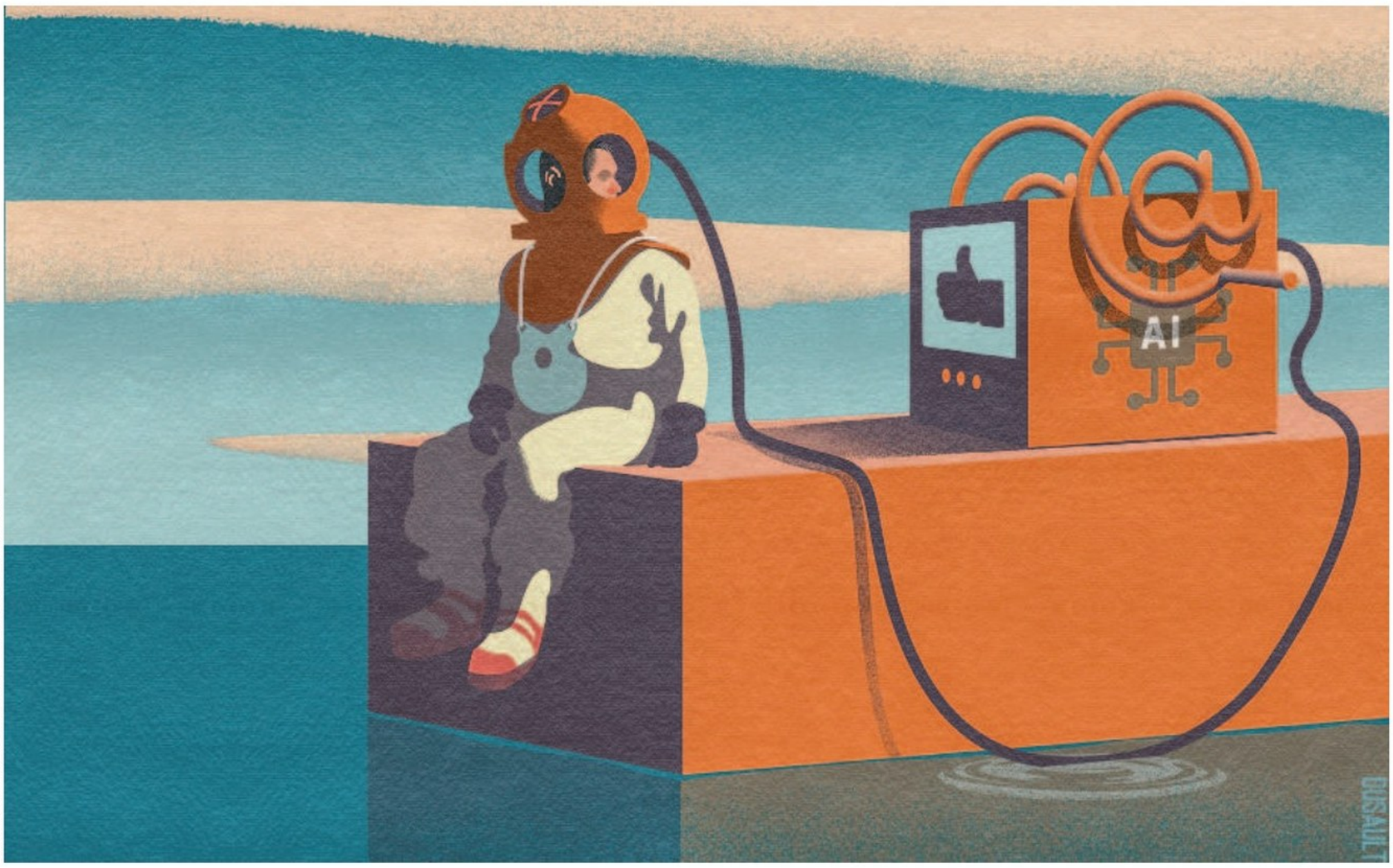
D'autres expériences à faire avec un smartphone :

- sciav.fr/931tutos
- sciav.fr/931experiences

CYRIL FRÉSILLON

« Pour mesurer le mouvement de la glace, les smartphones remplacent les bouées de vagues »

Stéphane Perrard, chercheur à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI)



ANTOINE MOREAU DUSAULT POUR SCIENCES ET AVENIR

L'IA pâtit d'un manque de confiance

Les performances indéniables de l'apprentissage profond depuis plus de dix ans s'accompagnent d'une opacité de fonctionnement des algorithmes. Les outils d'IA génératives compliquent encore le sujet.

Si l'algorithme d'une plateforme de vidéo vous recommande des films qui ne vous plaisent pas, ce n'est pas bien grave. En revanche, l'erreur d'un système de vision par ordinateur ou d'aide à la décision dans un contexte industriel ou médical peut avoir des conséquences autrement plus sérieuses, y compris sur des vies humaines. C'est tout l'enjeu du programme de recherche français Confiance.ai, dont les résultats ont été présentés en mars à Paris. Il a été lancé début 2021, avant l'emballement actuel autour de l'IA générative, mais alors que l'apprentissage profond était déjà utilisé pour faire de la maintenance prédictive, détecter des défauts, calculer le temps de vie restant d'une machine, etc. « *L'erreur est malheureusement inhérente à un système d'apprentissage, même en apprentissage profond*, prévient Bertrand Braunschweig, coordinateur scientifique du programme. *Donc il faut essayer d'augmenter la fiabilité.* »

Confiance.ai regroupe des industriels (Airbus, Thales, Naval Group, Renault…) et des organismes de recherche (CEA, Inria, instituts de recherche technolo-

7,075
millions d'euros
La subvention allouée par la Commission européenne au programme de recherche Themis 5.0 sur la confiance en IA (2023-2026).

giques…), avec l'objectif de définir des méthodes pour valider et implémenter des intelligences artificielles dans les entreprises sans les exposer à des erreurs, voire des dommages. Les travaux ont été menés à partir de cas d'usage. Ainsi, un projet du groupe Renault permet d'inspecter les soudures par analyse d'image. Différents algorithmes ont été testés sur des images dégradées pour voir lequel était le plus fiable, et un opérateur peut visualiser sur un écran la soudure « vue » et évaluée par l'IA. Chez Air Liquide, un système de vision par ordinateur compte les bonbonnes de gaz qui entrent et sortent des entrepôts. Or, la prise de vue et le comptage peuvent être parasités par la pluie et la neige. Un prétraitement par IA générative parvient à éliminer ces dernières des images captées, afin de limiter les erreurs, le tout sans réentraîner le modèle.

Ni valide, ni robuste, ni transparente

La confiance ne se résume cependant pas à la performance de l'algorithme. L'IA par apprentissage profond exige aussi, en amont, des garanties sur la qualité des données d'entraînement, leur légalité, leur confidentialité. « *Un système d'IA ne travaille pas hors sol, il est connecté à d'autres outils,* ajoute Fabien Gandon, responsable de l'équipe de recherche Wimmics (Inria/CNRS/université Côte d'Azur). *Il a accès à des réseaux, des bases de données… Tous ces aspects soulèvent la question de la confiance.* » Cette notion existait avant, quand les IA répondaient seulement à des règles. Écrire ces règles était un travail long, coûteux, nécessitant des mises à jour, « *mais on les comprenait, alors que l'IA statistique trouve les règles en fonction de ce qu'elle découvre dans les données, mais au passage, on perd leur contrôle et leur compréhension* », poursuit Fabien Gandon. Comment parvenir à expliquer une prédiction algorithmique ? C'est un véritable casse-tête en matière d'IA statistique, où des milliards de calculs sont impliqués. « *On est obligé de faire des raccourcis pour arriver à trouver, dans un ensemble de calculs, les racines d'une proposition de décision,* explique Bertrand Braunschweig. *C'est un sujet encore à l'état de recherche.* » L'envolée actuelle de l'IA générative ajoute une couche d'opacité. Pour Juliette Mattioli, présidente du comité de pilotage de Confiance.ai, ChatGPT, Llama, Gemini et autres posent un triple problème : « *L'IA générative, comme les modèles de langage, n'est ni valide — puisque de temps en temps, il y a des "hallucinations"* [des résultats totalement faux] — *ni robuste parce qu'on a la preuve que ces outils peuvent être détournés, ni transparente car on est en train de s'apercevoir qu'ils ont été entraînés sur des données qui n'étaient pas forcément libres.* »

D'où l'initiative de certaines organisations — notamment dans l'administration —, consistant à entraîner des modèles de langage sur leurs propres données, qu'elles maîtrisent, pour un usage dédié. Parallèlement, le programme Confiance.ai va devoir être prolongé pour intégrer cette IA générative. « *Les attributs de la confiance ne changent pas,* estime Juliette Mattioli. *En revanche, la manière de les évaluer, de les qualifier, va devoir changer puisque la nature de la technologie est différente.* » Preuve que le sujet est pressant, à l'automne 2023, l'Union européenne a lancé un projet sur la confiance en IA nommé Themis 5.0. Et Aniti, l'un des instituts interdisciplinaires d'intelligence artificielle (3IA), vient de monter à Toulouse un programme sur le sujet. ■ **Arnaud Devillard**

LE MOT DU MOIS

IA hybride

Pour arriver à expliquer une décision algorithmique malgré l'opacité de l'apprentissage automatique, une approche prône l'hybridation des deux grands types d'intelligence artificielle : l'IA symbolique, à base de règles et de connaissances, et l'IA statistique, par laquelle l'algorithme définit ses propres règles en fonction des données. Cette IA hybride donnerait de la lisibilité à un cheminement logique suivi par l'algorithme. En 2021, le CNRS a lancé à Singapour le programme DesCartes, un projet d'IA hybride sur le sujet de la ville intelligente. Courant sur cinq ans, il est doté de 35 millions d'euros.

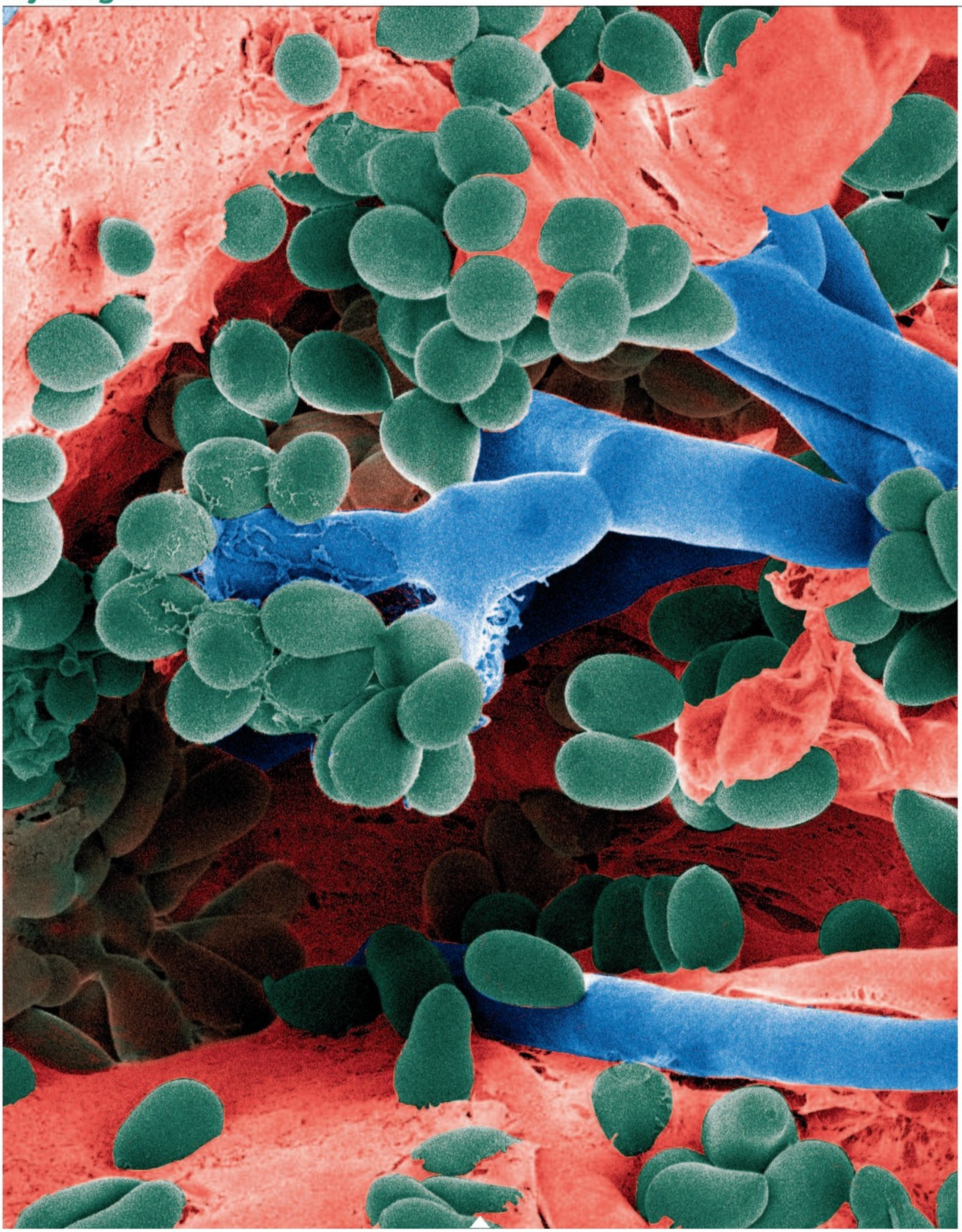
POUR EN SAVOIR PLUS

La confiance en intelligence artificielle selon Inria : **sciav.fr/931confia**

B. BRAUNSCHWEIG

“L'erreur est malheureusement inhérente à un système d'apprentissage, même en apprentissage profond”

Bertrand Braunschweig, coordinateur scientifique du programme Confiance.ai



DIMACELL, COLORISATION ALEXANDRINE THORE

« Botrytis cinerea » fait partie des ascomycètes. Ce champignon parasitaire très courant dans nos sols est à l'origine de la maladie de la « pourriture grise » qui endommage des cultures comme la vigne en cas de très forte humidité.

La planète invisible des champignons

Le premier atlas des champignons de France vient d'être publié. Il révèle un monde insoupçonné sous nos pieds : des milliards de levures, mycorhiziens, mycéliums filamenteux. Ces micro-organismes jouent un rôle primordial dans la biodiversité. Ils recyclent la matière organique, participent à la stabilité de la structure des sols et au développement des plantes. Retour sur un inventaire hors norme.

Par Loïc Chauveau

Un gramme de sol contient plusieurs milliards de micro-organismes, en particulier plusieurs dizaines de millions de cellules de champignons. Visuellement, ceux-ci n'ont que peu à voir avec les cèpes, chanterelles et autres lactaires qui sortent des sols à l'automne. C'est que les champignons représentent bien plus que les 5000 tonnes cueillies tous les ans dans les forêts et prairies françaises. Dans la classification du vivant, on les appelle les mycètes. Depuis 1969, ils sont reconnus comme un « règne », à l'égal des plantes et des animaux. Mais moins de 10 % produisent des structures complexes à pied et chapeau. La plupart des champignons sont en réalité microscopiques, à l'échelle de la cellule pour les levures par exemple. Et très mal connus ! Jusqu'ici en tout cas, car le premier *Atlas français des champignons du sol* vient tout juste d'être publié (éd. Biotope). C'est une fidèle photographie du monde de la « fonge » que viennent en effet de fournir les spécialistes de l'écologie microbienne des sols des laboratoires d'agroécologie de l'Institut national de recherche sur l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) de Dijon et de la surveillance des sols de l'Inrae d'Orléans. Cette somme détaille la densité et la diversité des 270 ordres (en l'état actuel des ▶

connaissances puisqu'on en découvre de nouveaux tous les mois) qui composent le règne des mycètes. Et l'une comme l'autre sont exceptionnelles, si bien que selon les dernières évaluations, le sol renferme 59 % de la biodiversité totale de notre planète.

Le rôle des champignons est essentiel : recyclage de la matière organique, stabilité de la structure des sols, développement des plantes, régénération de la fertilité, dépollution… Sans cet univers dont l'astrophysicien Hubert Reeves disait qu'il était plus divers, riche et abondant que toutes les étoiles du ciel, il n'y aurait tout simplement pas de vie sur cette planète.

« Sexuées, asexuées, mélange des deux, les stratégies de reproduction et de dispersion des champignons sont aussi diverses qu'ingénieuses, rappelle Philippe Silar, professeur de génétique et de mycologie à l'université Paris Cité. *Et ils produisent par milliards des spores qui n'ont pas d'autre fonction que la dispersion.* » En moyenne, chaque mètre cube d'air de l'atmosphère contient 20 000 spores ! L'ensemble des milieux terrestres est donc colonisé par des milliers d'espèces invisibles qui s'adaptent au climat, à la composition géochimique du sol, aux plantes déjà présentes et aux perturbations que les terrains peuvent connaître, comme le labour. Et leurs modes de vie sont très différents. Les mycorhiziens ont besoin des plantes pour entamer une symbiose, où le végétal fournit les sucres obtenus par photosynthèse contre des éléments minéraux et de l'eau que le champignon peut aller chercher beaucoup plus loin dans le sol que les racines. Les saprophytes vivent, eux, de la dégradation de la matière organique et du bois. Les champignons aident les plantes à vivre et à mourir…

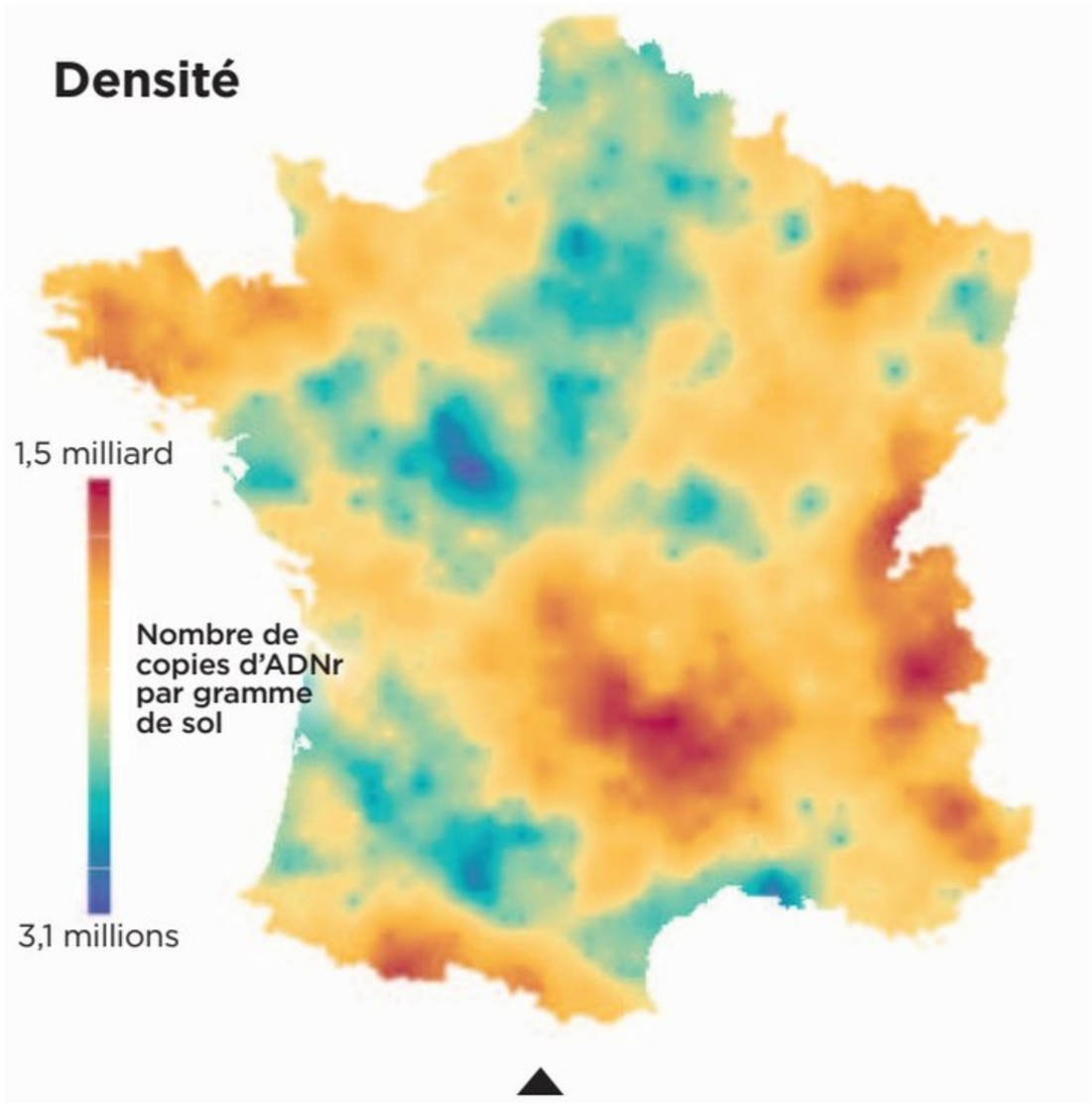
La génomique a révolutionné l'observation des sols

Difficile donc d'appréhender la grande biodiversité et l'abondance de ces milliards de mycéliums, ces filaments de quelques dizaines de micromètres qui colonisent les premiers centimètres des sols. Pour arriver à un atlas, il a fallu la conjonction de deux facteurs. Le premier, ce sont les progrès immenses accomplis dans les technologies au service de la science. *« La génomique a complètement révolutionné l'observation des sols,* a rappelé Francis Martin, chercheur émérite à l'Inrae de Nancy, lors de la présentation de l'atlas au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. *Avec le séquençage d'un type d'ADN extrait du sol, l'ADN ribosomique ou ADNr, il est possible d'inventorier les espèces présentes et leur abondance sans altérer l'écosystème. Désormais, en séquençant les ADNr, on peut savoir qui est présent, et en séquençant les ARN messagers, on peut mesurer l'expression de leurs gènes, c'est-à-dire leur activité.* » Ces ADN peuvent ainsi être comparés avec les 5000 génomes de champignons séquencés (sur 100 000 décrits par la science) qui sont en accès libre au Joint Genome Institute (JGI) du département de l'Énergie des États-Unis.
Avant la révolution génomique, les chercheurs en étaient réduits à des analyses très vagues d'échantillons de sols prélevés par des tarières qui détruisaient les fins réseaux des mycéliums.
Le deuxième facteur, c'est la création en 2000 du Réseau de mesures de la qualité

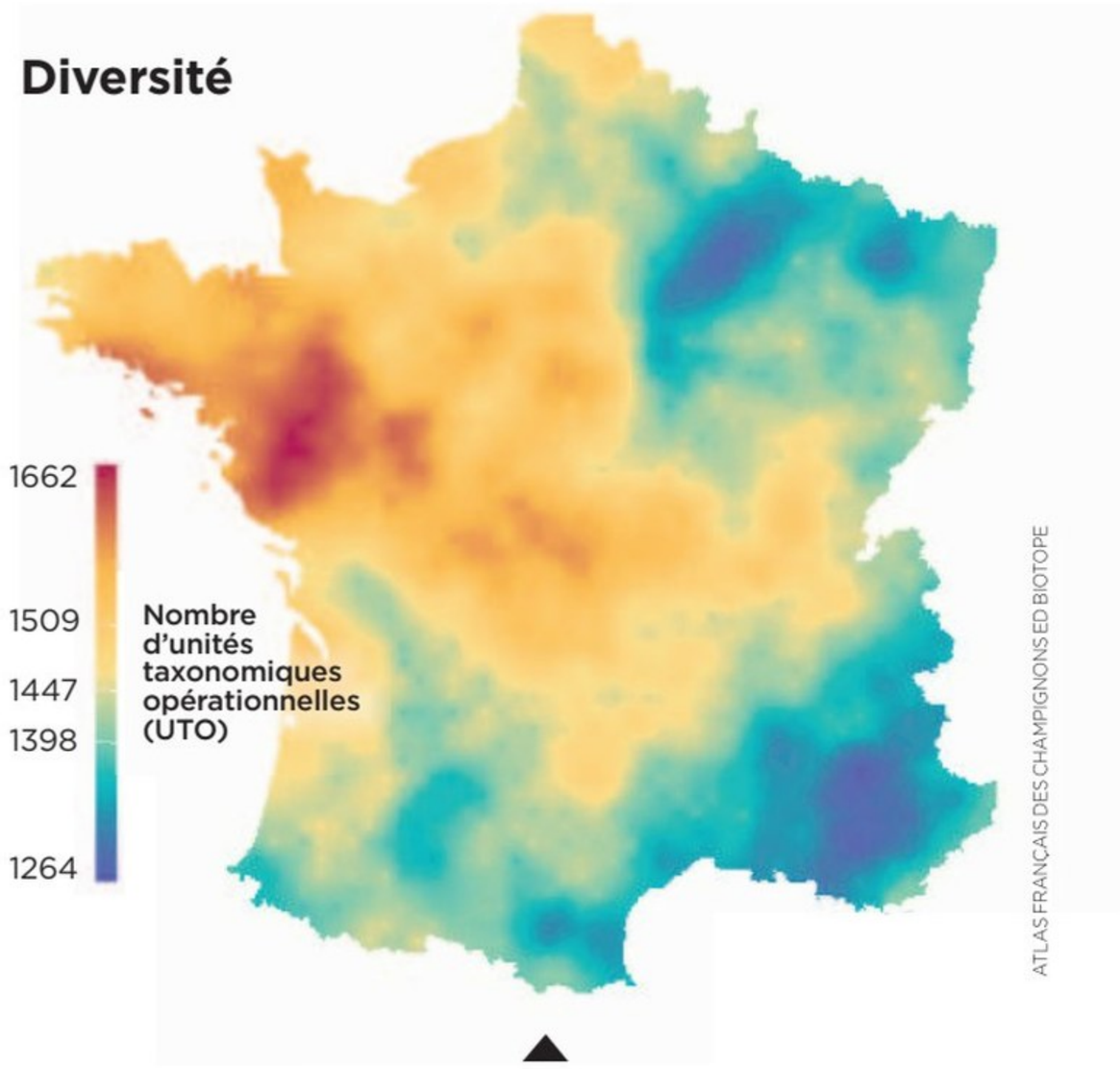
RECENSEMENT

La liste rouge des champignons en voie de disparition

Soixante ans après la première liste rouge des espèces menacées de l'Union internationale de conservation de la nature (UICN) consacrée aux mammifères, les champignons ont eu droit à leur première évaluation française, symbole du désintérêt pour ce règne. Publié en mai, ce travail mené par l'UICN et le Muséum national d'histoire naturelle s'est penché sur le sort de 319 espèces de bolets, de lactaires et de tricholomes que l'on trouve à l'automne principalement dans nos forêts. Douze espèces ont été considérées comme menacées et 16 quasi menacées. C'est le cas du lactaire jaune et lilas *Lactarius flavopalustris*, au chapeau modeste de 3 à 5 cm de diamètre, qu'on ne trouve que dans une tourbière du Jura et au bord d'un ruisselet des Alpes. Mais à cet endroit, l'espèce n'a plus été revue depuis 2000 du fait d'un terrassement pour une piste de ski. Le bolet de plomb *Imperator torosus*, qui croît sous les hêtres et les chênes en sol drainant, se fait plus rare du fait de l'exploitation forestière. Le tricholome équestre des chênes *Tricholoma chrysophyllum* n'est plus présent que sur quatre sites, après qu'une coupe rase d'une pinède a détruit l'une de ses dernières placettes. Ainsi, la destruction de leur habitat, notamment forestier, et le changement climatique expliquent ces risques de disparition. Mais, l'UICN le reconnaît, les données sont insuffisantes et ne reflètent pas l'état actuel des populations de champignons. D'autant qu'aucune espèce ne fait l'objet d'un programme de conservation et de protection.



À partir de l'ADN total extrait de chaque sol du Réseau de mesures de la qualité des sols, le nombre de copies d'ADN ribosomique a été quantifié par le processus d'amplification d'ADN PCR (polymerase chain reaction). Cette densité va de 3,1 millions à 1,5 milliard de copies d'ADNr par gramme de sol.



La présence des différents champignons a pu être confirmée par marqueur moléculaire. La diversité fongique étant trop importante, les classes les plus proches ont été agrégées en « unités taxonomiques opérationnelles ». 136 000 UTO différentes ont été identifiées.

des sols (RMQS). Ce réseau constitue une structure unique au monde de surveillance de la couche superficielle de la terre de France *(lire l'encadré p. 40)*. L'Hexagone a ainsi une responsabilité particulière : il ne représente que 0,3 % de la surface terrestre mais son territoire est le troisième au monde pour son hétérogénéité environnementale (derrière la Chine et le Brésil) avec 18 grands types de sols, huit climats et une immense variété d'occupation des terres. Pour prendre en compte toute cette richesse pédologique, l'atlas distingue dix types d'habitat fongique, des sols très acides des forêts sous climat océanique aux sols alcalins de grandes cultures, vignes et vergers sous climat méditerranéen. Tous les sols ont révélé la présence de champignons.

Les scientifiques ont d'abord cherché à estimer la densité en mycélium à partir du nombre de copies d'ADN extrait de chaque placette du RMQS. *« La densité moyenne dans les sols français est de 320 millions de copies d'ADNr par gramme de sol* [et autant d'individus], révèle Christophe Djemiel, l'un des six auteurs et coordinateur de l'atlas. *Cependant, de fortes disparités peuvent être observées, allant de 3,1 millions à 1,5 milliard de copies d'ADNr par gramme de sol.* » Ces valeurs extrêmes proviennent de sols forestiers : en Gironde pour la plus faible densité, et dans le département du Gard pour la plus élevée.

Une plus forte densité fongique dans les sols forestiers

La densité fongique maximale correspond à des sols de texture argileuse et équilibrée, riches en matière organique facilement décomposable. *« Les sols sous couvert forestier et les sols de prairie, représentant des écosystèmes naturels et semi-naturels, hébergent en moyenne une plus forte densité de champignons que ceux sous grandes cultures ou vignes et vergers »*, poursuit Christophe Djemiel. Ceci peut s'expliquer en partie par des teneurs plus élevées en carbone organique dans les sols de prairie et de forêt par rapport aux sols de grande culture ou de vigne et verger.

S. MARTIN

« On sait désormais où se trouvent les différentes classes de champignons, la prochaine étape sera de caractériser leurs fonctions »

Francis Martin, chercheur émérite à l'Institut national de recherche sur l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) de Nancy

MESURES

Un maillage fin du territoire

Depuis 2000, le Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) est constitué de 2240 sites permettant de couvrir le territoire français, selon une maille de 16 km de côté. Ces placettes sont visitées tous les quinze ans pour en suivre l'évolution. La deuxième campagne de prélèvement est donc en cours. L'analyse porte sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Une première campagne a déjà permis de décrire les contaminations de neuf polluants métalliques comme le cadmium, le cobalt ou encore le cuivre. Le RMQS a également permis d'établir qu'en France, les 30 premiers centimètres de sol recelaient 3,2 milliards de tonnes de carbone provenant de la décomposition des végétaux. Pour suivre l'évolution des sols, l'Inrae d'Orléans est chargé de conserver les échantillons en chambres froides. Elles abritent aujourd'hui 30 tonnes de terres diverses.

Certaines pratiques agricoles nuisent à leur abondance. Il en est ainsi du travail intensif du sol qui détruit les habitats des champignons ; de la fertilisation par des engrais chimiques au détriment d'apports organiques ; de l'ajout de pesticides comme les antifongiques. On trouve également moins de champignons quand il n'y a pas de couverture végétale permanente, par exemple dans les vignes non enherbées.

Davantage d'espèces dans les terres de grandes cultures

Mais la quantité n'est pas le seul critère d'importance : la diversité l'est tout autant. Les espèces sont regroupées en unités taxonomiques opérationnelles (UTO), c'est-à-dire des assemblages de classes de champignons. Les chercheurs ont ainsi différencié plus de 136 000 UTO différentes ! En moyenne sur chaque site, ils ont trouvé 1454 classes *(voir la carte p. 39)*. Les terres des vignes et vergers ainsi que celles des forêts sont moins variées que celles des prairies et de grandes cultures. *« À cela, une raison : les sols qui subissent peu ou pas de perturbations humaines sont stables et présentent donc un nombre limité de niches écologiques, tandis que les sols modérément perturbés fournissent des lieux de vie très différents qui favorisent l'installation d'un plus grand nombre d'espèces »*, précise Lionel Ranjard, directeur de recherche à l'Inrae Dijon. Mais une trop forte perturbation comme les labours, le maintien des sols sans couvert végétal et l'usage des antifongiques font que les vignes présentent la plus faible biodiversité.

Quelles sont ces classes ? Parmi les innombrables qui caractérisent les champignons, en voici trois exemples. Les sordariomycètes sont des ascomycètes, c'est-à-dire qu'ils se reproduisent à partir de petits réservoirs à spores, les asques. Ce sont des mycéliums filamenteux que l'on retrouve dans la totalité des sols français, et malheureusement pour l'essentiel dans les terres de grandes cultures, de vignes et de vergers. Car dans cette classe, on trouve les *Fusarium* responsables de la fusariose, maladie affectant les céréales, *Claviceps purpurea* ou « ergot de seigle » producteur de l'acide lysergique, principe actif du LSD, ou encore *Ophiostoma ulmi*, responsable de la graphiose qui a quasiment fait disparaître l'orme du paysage français au XXe siècle. En moyenne, 17 % des ADN retrouvés dans les sols français appartiennent aux sordariomycètes.

CLAUDY JOLIVET

Des échantillons de terre sont prélevés sur un des 2240 sites du Réseau de mesures de la qualité des sols.

Une symbiose entre mycéliums filamenteux et algues

Les tremellomycètes sont quant à eux des levures, c'est-à-dire des champignons unicellulaires dont l'un des représentants emblématiques est *Cryptococcus*, responsable de la cryptococcose, la première affection fongique au monde touchant les animaux en général, et les humains en particulier (méningite à cryptocoque). Ils sont présents dans tous les sols de France, mais plus abondants dans ceux de grandes cultures. Ils représentent en moyenne 11,79 % des populations. Enfin, les glomeromycètes sont, eux aussi, présents partout, et c'est heureux. Ces mycéliums filamenteux très rustiques sont vraisemblablement ceux qui ont aidé les algues à conquérir les continents, en les aidant par mycorhize à trouver les éléments minéraux présents dans le sol, il y a environ 500 millions d'années.

Cet atlas ouvre d'immenses perspectives. *« On sait désormais où se trouvent les différentes classes de champignons, la prochaine étape sera de caractériser leurs fonctions »* ambitionne Francis Martin. L'objectif est de comprendre la vie intime des habitants du sol, leurs rôles respectifs dans la fertilité de la couche ultime de la croûte terrestre, les interactions entre les pathogènes et leurs prédateurs. Pour, *in fine*, donner naissance à un usage raisonné et respectueux de la terre nourricière. ■

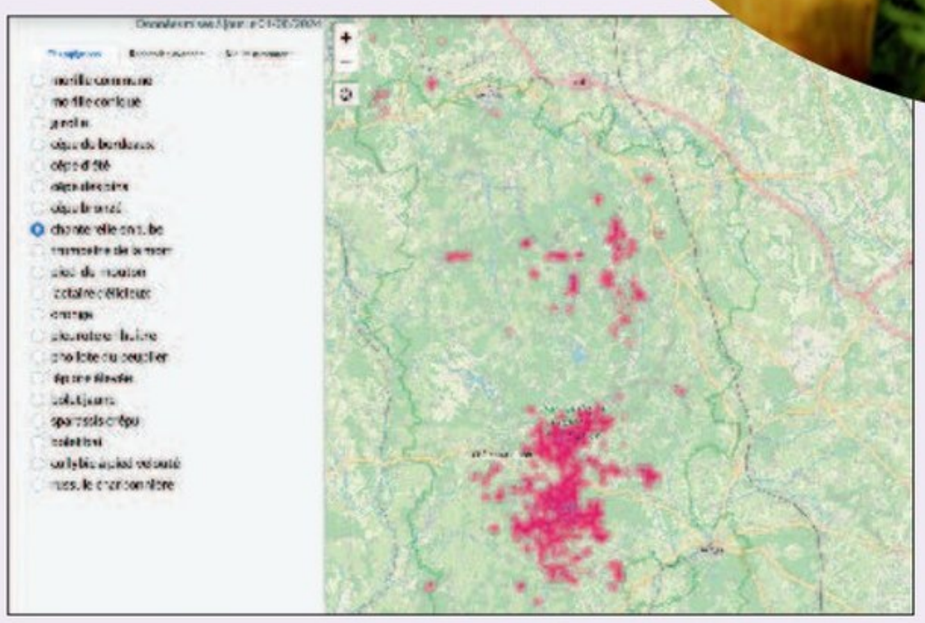
DATA

L'application qui dévoile les coins à champignons

En prenant en compte la nature des sols, le type d'arbres présents, l'exposition..., un jeune ingénieur a mis au point un algorithme qui établit des cartes interactives des zones propices aux différentes espèces de champignons.

Les coins à champignons, c'est comme les sources dans le Midi, ça ne se dit pas. Cèpes, morilles ou girolles… Si l'on connaît un endroit où ces mets de choix ont l'habitude de pousser, il est de coutume d'en garder jalousement le secret, souvent même en famille. C'est dans ce contexte de savoureuse omerta qu'un ingénieur spécialiste d'analyse de données a eu l'idée de créer un outil permettant à ceux qui ne savent pas où chercher pour trouver, peut-être, eux aussi leur coin à girolles. Pour 48 euros à l'année, le site Chasseurs de champignons (chasseursdechampignons.com) propose la vente de cartographies détaillées des zones les plus propices où découvrir jusqu'à 20 espèces différentes de champignons comestibles.

« *Ce n'est pas un outil magique,* prévient d'entrée son créateur Jordan Monnot, 31 ans, diplômé de l'École polytechnique et de l'École nationale supérieure d'arts et métiers, lui-même féru de cueillette. *Même une zone très propice, où tous les paramètres sont réunis, peut ne pas être mycorisée. C'est-à-dire que le mycélium sous la terre n'est pas présent. Dans ce cas, il n'y a pas de champignons.* » Concrètement, l'algorithme permettant de dresser les cartes prend en compte la nature des sols, le type de forêt peuplant la zone avec les arbres les plus présents (chêne, épicéa, hêtres, etc.), l'altitude, l'exposition et le relief du secteur. La cartographie cible ainsi des zones parfois très vastes, ou au contraire très restreintes, d'un minimum de 50 mètres de côté. « *J'ai consulté des mycologues et analysé les données de l'abondante littérature scientifique en mycosylviculture* [l'art de cultiver des champignons en lien avec les arbres] *pour comprendre quelles sont les conditions de pousse optimales pour chaque champignon. Puis j'ai collecté auprès d'organismes indépendants comme l'Office national des forêts (ONF) des données sur les caractéristiques physico-chimiques des sols (acide, neutre ou calcaire), les essences d'arbres et le relief. C'est avec ces données recoupées que j'ai codé un algorithme à même de prédire les zones propices à chaque espèce.* » Testé en Bourgogne par nos soins lors de la saison des morilles, au printemps, l'outil ne nous a pas permis d'en trouver. Mais il pointait bien ce petit bois d'environ 200 m de côté, connu — de nous seuls — pour abriter le précieux mets. « *Le nombre de sorties, le jour et l'heure auxquels elles sont effectuées sont aussi des paramètres importants, tout comme l'œil — habitué ou non — du cueilleur* », rappelle Jordan Monnot. Pour Marc-André Selosse, responsable de l'équipe Interactions et évolution végétale et fongique au Muséum national d'histoire naturelle, « *il est difficile d'évaluer la qualité de la prédiction. Il faudrait plus de tests sur le terrain. Au vu de la méthode, il s'agit de sites propices à la cueillette, mais un potentiel n'implique pas la présence. On espère un jour avoir des cartes de distribution fondées sur l'observation directe, mais ce n'est pas pour demain : chacun garde jalousement ses données comestibles.* » De fait, Jordan Monnot compte sur des sondages réalisés parmi les quelque 20 000 utilisateurs pour affiner sa cartographie. ■ **Hugo Jalinière**



L'outil cartographie les biotopes susceptibles de receler l'espèce de champignon recherchée (ici les coins à chanterelles entre Avallon et les environs de Chateau-Chinon).

OLIVIER DIGOIT / BIOSPHOTO

GONÉRI LE COZANNET
CHERCHEUR AU BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES (BRGM)

Comment protéger le littoral de la montée des eaux

Ce spécialiste de l'adaptation aux risques liés au changement climatique interviendra le samedi 14 septembre au festival Grand Océan pour une conférence sur le thème « Que se passe-t-il sur les côtes françaises, Atlantique, Méditerranée et Outre-mer ? ».

De quelle manière les littoraux français vont-ils devoir s'adapter à la montée des eaux ?
Dans les secteurs qui ne sont pas encore développés, la meilleure chose à faire, c'est de limiter l'urbanisation. En revanche, dans ceux qui le sont déjà, on peut envisager plusieurs options, qui ont leurs avantages et leurs inconvénients. La première est de protéger le littoral, par exemple avec des digues. Cette approche engendre des coûts importants et potentiellement des conséquences sur les écosystèmes. Si l'on s'engage dans cette voie, la grande question aujourd'hui est : comment gérer les estuaires ? Quand le niveau marin est trop haut, il faut les fermer. C'est ce qui se fait par exemple à Noirmoutier (Vendée) et en Haute-Normandie, où des clapets se ferment à marée haute. Aux Pays-Bas, cette approche a également été déployée sur de grands estuaires, mais il n'est pas évident qu'en France ce soit la meilleure idée. Déjà parce que cela coûte extrêmement cher — plusieurs milliards d'euros —, mais aussi parce que cela a des impacts négatifs sur l'environnement.

BRGM

Membre du Haut Conseil pour le climat, Gonéri Le Cozannet est coauteur du 6e rapport du Giec.

Quels types d'impacts ont ces barrières ?
Les échanges de salinité entre la mer et la terre sont complètement perturbés, la turbidité de l'eau est modifiée, les poissons ne peuvent plus se déplacer… Il y a tellement de paramètres ! Il y a un vrai besoin de recherche avant de se mettre à construire de nouvelles barrières.

Quelle est l'alternative ?
La solution opposée consiste à relocaliser. Bien sûr, dans certaines zones industrielles comme vers Dunkerque, le recul est difficile à imaginer. Relocaliser est mal accepté socialement et demande beaucoup de temps. Mais il y a un grand avantage : on crée de l'espace pour les sédiments et les plantes. Cela permet de recréer un tampon naturel entre la mer et la terre, qui a des avantages pour les écosystèmes mais aussi pour le tourisme. C'est très intéressant économiquement aussi car cette zone tampon va évoluer naturellement, et il n'y aura plus besoin de construire de digues. À terme, il faudra considérer l'une de ces options, car une montée des eaux de plusieurs mètres est inévitable si l'on parle d'un horizon au-delà de 2100.

Et qu'en est-il des solutions fondées sur la nature ?
Ce sont des solutions faciles à mettre en œuvre avec la relocalisation. On peut alors restaurer des dunes, des marais, des mangroves. Cela rétablit des transports de sédiments naturels qui vont permettre à la côte de s'ajuster face à l'élévation du niveau de la mer, naturellement.

SIMON LAMBERT/DIVERGENCE

L'érosion grignote de plus en plus le littoral normand, provoquant le recul des falaises (ici à Criel-sur-Mer, en Seine-Maritime).

Existe-t-il néanmoins une solution à plus court terme ?
Oui, c'est ce que l'on appelle l'accommodation, qui consiste à réduire la vulnérabilité des bâtiments. On peut par exemple construire des maisons sur pilotis, les doter de portes étanches, rehausser les systèmes électriques. Cela se fait déjà en Polynésie. Ce sont des solutions de transition peu coûteuses. En France métropolitaine, dans le Pas-de-Calais ou du côté de La Rochelle (Charente-Maritime), les plans de prévention des risques d'inondation prescrivent par exemple des rehaussements de planchers.

Vos travaux évoquent un autre scénario, plus surprenant : avancer vers la mer ?
C'est ce que l'on fait aux Maldives. L'idée est de créer des nouvelles villes sur le platier récifal [étendue rocheuse affleurant sur l'estran et recouverte de coraux] qui sont plus hautes que les îles naturelles. À terme une option est de créer des îles de plus en plus hautes : il n'y aurait plus d'îles naturelles, mais seulement des îles urbaines sur lesquelles les populations pourraient continuer à vivre.

Le festival Grand Océan se tient à nouveau en Normandie. Pouvez-vous évoquer les problématiques affectant cette région ?
Toutes les plages de Normandie vont s'éroder de plus en plus. Le risque c'est de ne plus avoir de plage à marée haute. Or ces plages servent d'habitat à des oiseaux, donc le risque de perte de biodiversité est important. Il y a aussi l'enjeu des sites nucléaires. Les futurs EPR comme celui de Penly (Seine-Maritime) seront encore là au début du XXIIe siècle, à un moment où on ne peut pas exclure 2 mètres d'élévation du niveau de la mer, ce qui impliquera des travaux très importants.
Il y a aussi l'estuaire de la Seine. Dans un premier temps, si l'on ne fait rien, on aura 20 ou 30 centimètres d'élévation du niveau de l'eau au-delà de Rouen. Que faut-il faire ? Protéger un peu partout le long de l'estuaire ? Autoriser des inondations dans certains marais ? Ou faut-il faire une barrière estuarienne, ce qui représente un budget d'au moins 5 milliards d'euros… Il s'agit de questions qu'il faut se poser aujourd'hui. ■

Propos recueillis par Mathieu Nowak

ÉVÉNEMENT

Rendez-vous à Grand Océan

La troisième édition du festival Grand Océan a pour thème « Penser et protéger le littoral et les îles ». Cet événement organisé par *Sciences et Avenir* avec Les Échos-Le Parisien Événements se tiendra les 13 et 14 septembre 2024 à la Cité de la mer, en partenariat avec la ville de Cherbourg-en-Cotentin, l'agglomération du Cotentin, le département de la Manche et la région Normandie. Frédéric Moncany de Saint-Aignan, président de la Cité de la mer, l'accueille en ces termes : *« Acteur national et européen majeur dans l'éducation et la défense de l'océan et de ses richesses depuis plus de vingt ans, la Cité de la mer poursuit inlassablement et avec conviction ses missions. À l'occasion de l'année de la mer, la Cité est un acteur majeur et incontournable de cette stratégie nationale dont le point d'orgue sera la conférence des Nations unies sur l'océan (Unoc) en 2025 à Nice. Tout au long de cette année, une programmation culturelle, scientifique, artistique, événementielle, économique attend les visiteurs. Nous parlerons de l'océan sous et sur la surface, de sa beauté, de ses richesses, de ses enjeux, avec celles et ceux qui œuvrent à mieux le comprendre pour le protéger. »* Les festivités se poursuivront le 15 septembre, à Réville. ■
Programme et inscriptions :
www.grandocean-event.com

Un laboratoire au secours des coraux en Polynésie

Le déclin des récifs coralliens s'amplifie avec le réchauffement planétaire. Tahiti et Moorea ne sont pas épargnées. Une équipe locale de chercheurs a créé des pépinières de boutures de corail qui serviront à restaurer les zones fortement endommagées.

ALEXIS ROSENFELD/DIVERGENCE IMAGES - ADRIEN POQUET

Dans la pépinière du Criobe, au cœur du lagon de Moorea, les chercheurs étudient la résistance au réchauffement climatique de coraux élevés sur des arbres métalliques. Si certains ne souffrent pas de stress thermique, d'autres en revanche ont blanchi (à gauche en 2019, à droite en 2024).

Un lundi de printemps dans la baie d'Opunohu, à Moorea, en Polynésie française. Il est 9 h 30 quand Laetitia Hédouin rejoint son équipe à la marina. Chercheuse au CNRS, elle étudie les coraux depuis plus de douze ans au Centre de recherches insulaires et observatoire de l'environnement (Criobe). Les scientifiques s'équipent pour partir toute la journée dans le lagon de l'île sœur de Tahiti. Direction la pépinière de recherche sur les coraux du Criobe. Celle-ci a été créée en 2017 pour observer l'évolution de différents coraux dans le temps. « *Il s'agit d'un outil de recherche qui permet de suivre les mêmes lignées génétiques sur le long terme. Cela permet de comprendre comment les individus résistent aux épisodes de blanchissement* », précise Laetitia Hédouin. C'est que l'heure est grave. La Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) et le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) ont établi qu'à l'horizon 2100, le déclin des récifs coralliens serait de 70 à 90 % avec un réchauffement planétaire de 1,5 °C, et de plus de 99 % à 2 °C. Tahiti et les îles voisines ne sont pas épargnées. Les vagues de chaleur successives ont engendré d'énormes pertes, aggravées par l'arrivée massive d'acanthaster, une espèce d'étoile de mer qui se nourrit du corail, ou la survenue d'événements météorologiques extrêmes comme le cyclone Oli de 2010. La pépinière du Criobe est la première du genre en Polynésie. Sur des supports artificiels en forme d'arbres, des boutures de corail sont suspendues à des fils. Celles qui survivent serviront à restaurer les zones fortement endommagées. Au départ, l'expérimentation fut un succès : dès 2019, les scientifiques ont observé un phénomène de reproduction avec une libération massive de gamètes, une « ponte corallienne ». Las, à peine quelques mois plus tard est survenu El Niño, un phénomène climatique cyclique s'accompagnant de températures marines plus élevées dans le Pacifique. Une augmentation de 4 à 6 °C des eaux de surface a été enregistrée.

Pour le corail, la température optimale de l'eau se situe entre 25 et 28 °C. Animal microscopique, il vit en symbiose avec des microalgues, les zooxanthelles, qui lui fournissent les nutriments dont il a besoin pour se développer. Or, quand la température augmente, la photosynthèse chez ces microalgues est perturbée. Non seulement elles ne peuvent plus alimenter les coraux, mais elles se mettent en

outre à produire des composés toxiques. Pour se protéger, les coraux les expulsent, et ainsi blanchissent. Si la situation dure trop longtemps, ils finissent par mourir, ne laissant que leur squelette calcaire. Selon l'initiative française pour les récifs coralliens (Ifrecor), il y a eu ainsi 50 % de mortalité corallienne en 2019 à Moorea.

Des « super-coraux » plus résistants à la température

La pépinière a elle aussi été touchée : beaucoup d'espèces bouturées en 2017 sont mortes. Les chercheurs ont alors plongé à la recherche des coraux survivants pour en faire une sélection et les replacer dans la pépinière. Ceux-ci ont été appelés thermorésistants ou « super-coraux ». *« Certains sont plus résistants à la température. Mais nous ne savons pas si cela les rend plus vulnérables à d'autres stress comme l'acidification de l'eau »*, s'interroge Emma Camp, biologiste marine à l'université technologique de Sydney (Australie), engagée dans le programme Future Reef, une initiative de surveillance et de conservation des récifs coralliens, et cofondatrice du programme Coral Nurture, un partenariat entre chercheurs et opérateurs touristiques pour gérer des sites de la Grande Barrière de corail. En effet, outre le réchauffement de l'océan, l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère a une autre conséquence : la dissolution du gaz carbonique dans l'eau de mer, qui entraîne son acidification. Ce phénomène vient contrarier la formation des squelettes calcaires.

La petite barque en aluminium navigue doucement pour sortir de la marina. Elle longe un paquebot de plusieurs étages qui a déversé son flot de touristes à Moorea. Après une quinzaine de minutes de navigation, le bateau atteint la pépinière. À 10 mètres de fond, une trentaine d'arbres artificiels supportent des boutures de corail. On y trouve des espèces différentes de coraux : *acropora* et *pocillopora*, qui semblaient être résistants jusqu'alors aux vagues de chaleur. Un quart d'entre eux sont issus de la sélection effectuée en 2019. L'ambition des chercheurs est de les faire se reproduire pour restaurer des récifs décimés. *« Nous voulons suivre les différents génotypes pour obtenir une pépinière de coraux résistants au changement climatique »*, explique Laetitia Hédouin.

Une fois le bateau ancré, les scientifiques s'équipent de leur matériel de plongée, s'arment de brosses qui serviront à nettoyer les branches des arbres de la pépinière où se trouvent les boutures de corail. Ils utilisent également des cartes de couleur pour estimer l'évolution des coraux et de leurs microalgues.

En juin 2023, un nouvel épisode El Niño s'est déclenché et a frappé le Pacifique Sud. Conjugué au réchauffement climatique, il a engendré une importante vague de chaleur. En avril dernier, ses effets étaient toujours ressentis dans les eaux polynésiennes. *« Ici* [à Moorea], *nous n'avons pas un blanchissement massif,* précise Laetitia Hédouin, en s'équipant sur le bateau. *Mais à Fakarava* [un atoll des Tuamotu, autre archipel de Polynésie française], *c'est le cas. »* À 10 mètres de profondeur, les scientifiques retirent de petites algues brunes sur certaines branches, prennent des photos, comparent les coraux. La pépinière de corail scintille… de blanc. *« C'est la catastrophe ! »* Laetitia Hédouin vient à peine de sortir de l'eau et ne masque pas son désarroi. *« Cela veut dire que la résistance n'est pas durable. Par exemple, le premier arbre sur lequel on a travaillé, ce ne sont pratiquement que des anciens coraux… Et c'est très blanc !,* lâche-t-elle en enlevant sa combinaison de plongée. *C'est un blanc qui est magnifique… mais il veut dire qu'à l'étape suivante, ils meurent… »* Elle estime que la moitié des coraux ne survivront pas. Pourtant, un épisode de blanchissement n'est pas toujours synonyme de mort pour

RESSOURCE

La valeur méconnue des coraux

500 millions de personnes, dont 40 millions de pêcheurs, vivent directement ou indirectement des récifs coralliens dans le monde. Dans la région Pacifique, 70 % des protéines consommées dépendent de ces récifs. Ils couvrent seulement 0,2 % de la surface des mers mais comptent en leur sein plus de 25 % de la biodiversité marine mondiale, ce qui représente près de 60 000 espèces. En outre-mer français, selon le rapport de 2021 de l'Ifrecor sur l'état de santé des récifs coralliens, ils procurent l'équivalent de 1,3 milliard d'euros avec des services rendus comme la protection des côtes, la sécurité alimentaire, le tourisme, la régulation du climat, la séquestration de carbone par les herbiers et les mangroves.

AMÉLIE DAVID

◀ **Les chercheurs** trient les coraux tout juste prélevés sur le site d'observation de Temae. Ces échantillons analysés ensuite en laboratoire permettent de suivre la progression du recouvrement corallien après l'épisode de blanchissement de 2019.

les coraux. Certains blanchissent, mais quand la température revient à la normale, les zooxanthelles peuvent recoloniser les tissus coralliens. Or, ici, de petites algues marron, semblables à du coton effilé, ont commencé à envahir certains d'entre eux, ce qui est un très mauvais signe selon la chercheuse. En effet, ces petites algues vont finir par les étouffer. Ces constatations l'incitent à se questionner sur les critères de sélection des coraux à élever dans une pépinière. Faut-il enlever les *acropora* qui présentent un fort blanchissement cette fois-ci ? « *Mais en 2019, nous avons eu 50 % de blanchissement sur les* pocillopora… *Cette année, l'épisode est mineur et nous allons quand même perdre les* acropora. *Je n'arrive pas à comprendre… Je n'aurais jamais pensé qu'il y aurait autant de blanchissement…* »

Le secret des boutures en bonne santé

Le terme de « super-corail » ne serait-il pas usurpé ? « *Avoir survécu à un événement stressant ne veut pas nécessairement dire que ce sont des super-coraux,* admet Emma Camp. *Il nous faut combattre le changement climatique. C'est la pire menace pour les récifs… Mais même si nous stoppons les émissions globales, il faudra du temps à l'océan pour se remettre.* » Mais peut-être les super-coraux restent-ils encore à découvrir ? Le bateau lève l'ancre et part vers Temae, un autre site de recherche du Criobe. Il ne s'agit pas cette fois d'une pépinière, mais d'un simple site d'observation. Les scientifiques y procèdent à des relevés pour suivre le recouvrement corallien. Bonne nouvelle : sous la surface, les coraux resplendissent et semblent être en meilleure santé que dans la pépinière. Les massifs sont importants ; les couleurs plus nombreuses et plus vives. Après avoir tagué et prélevé un morceau de certains de ces êtres vivants, les chercheurs les photographient avec les cartes de couleur. « *Ici, c'est un très joli site. Il y a des coraux blanchis, mais ce n'est pas un événement majeur* », se réjouit Laetitia Hédouin au retour de la plongée. Il est cependant encore trop tôt pour déterminer la capacité de ce site à se reconstruire à la suite de l'épisode de 2019, mais l'espoir reste permis.

Sur l'île de Moorea, le soleil commence à décliner. La baie d'Opunohu plongera bientôt dans la pénombre. Une fois à bon port, les chercheurs mettront leurs observations et prélèvements à l'épreuve du laboratoire. Pour Laetitia Hédouin, les premiers résultats indiquent que les mécanismes de tolérance peuvent changer dans le temps et que les épisodes répétés de hausse des températures ne permettent pas forcément une acclimatation des boutures aux vagues de chaleur. « *Il y a tout de même des boutures qui ont résisté en 2019 et en 2024. L'objectif est maintenant de travailler sur celles-ci et d'élucider leurs mécanismes de thermotolérance : chez le corail hôte ou chez la zooxanthelle.* » Les scientifiques vont ajouter des boutures, à la fois plus résistantes et plus sensibles aux vagues de chaleur. Ils prévoient aussi de réaliser des croisements génétiques à partir des pontes coralliennes qui devraient avoir lieu en octobre. En espérant que la prochaine plongée apportera de meilleures nouvelles. ■ **Amélie David**

C. HEDOUIN

« Nous voulons suivre les différents génotypes pour obtenir une pépinière de coraux résistants au changement climatique »

Laetitia Hédouin, directrice de recherche CNRS au Criobe (Centre de recherches insulaires et observatoire de l'environnement)

BLANCHISSEMENT

Ombre et fraîcheur, le duo gagnant

Le blanchissement corallien est à la fois une question de température de l'eau et de luminosité. Les équipes de Laetitia Hédouin du Centre de recherches insulaires et observatoire de l'environnement (Criobe) travaillent sur les mécanismes de résilience des coraux pour étudier ces questions. Des projets sont en cours sur l'ombrage, dans une autre partie du lagon de Moorea, avec une pépinière à 30 mètres de profondeur. « *Nous voulons voir s'ils blanchissent ou non. À 30 m, il se peut que nous préservions la diversité* », détaille-t-elle. Ses équipes étudient aussi la réaction des coraux à des courants d'eau plus fraîche. À Tetiaroa, le Criobe a noué un partenariat avec l'hôtel Le Brando qui utilise la technologie Swac (Sea Water Air Conditioning) pour la climatisation. Ce système prélève de l'eau de mer à -900 m environ, dans une zone où la température de l'eau est à 4 °C. Cette eau passe dans un échangeur thermique puis est rejetée à 14 °C environ autour de pépinières de corail. Ce qui produit des petits courants d'eau froide menant les coraux entre 0,5 et 0,7 degré en dessous de la température normale de l'eau. « *Avec une eau à 0,7 °C plus fraîche, les coraux n'ont pas du tout montré de signes de blanchissement, contrairement aux mêmes espèces à proximité* », se réjouit Laetitia Hédouin.

LAURENT FERRIERE / HANS LUCAS

Cinq questions pour passer à la « maison intelligente »

Alors que les prix du gaz et de l'électricité augmentent, il est intéressant d'investir dans des équipements de domotique pour réguler sa consommation d'énergie et réduire la facture. Sachant que chauffage et eau chaude sont les principaux postes de dépense.

Par Stéphanie Condis, avec Agence Forum News

1 Quel est l'intérêt d'équiper son logement en domotique ?

Les systèmes « Smart home », ou maison intelligente, permettent de consommer mieux et moins. Ils sont très utiles pour calculer, analyser, anticiper, programmer et contrôler à distance divers scénarios domestiques : le moment du réveil, la nuit, les périodes d'absence, en journée ou pendant les vacances, etc. Le coût d'achat et d'installation (très individualisé selon le type de logement et la nature des équipements) est compensé rapidement par les économies d'énergie réalisées grâce à un pilotage précis des usages, avec l'automatisation, le numérique et la connectivité (au moyen d'applications pour smartphone notamment). Les équipements domotiques sont plus ou moins complexes, depuis les thermostats connectés jusqu'aux capteurs sur les lampes ou les volets.

2 Comment mieux réguler la température de l'habitat ?

Le chauffage représente 66 % du budget énergétique d'un ménage et, en hiver, baisser la température d'un degré fait économiser 7 % d'énergie, souligne Solène Marry, coordinatrice innovation du service Bâtiment à l'Ademe, l'agence de la transition écologique : « *Il faut faire en sorte de ne plus chauffer les bâtiments dans leur ensemble, mais de manière distincte selon les pièces et en fonction de sa présence, grâce aux thermostats programmables connectés.* » Selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), s'équiper de tels dispositifs, qui se pilotent depuis un portable, une tablette ou un ordinateur, permet de réduire de 15 à 20 % sa facture de chauffage. Les plus « intelligents » peuvent même baisser le chauffage si une fenêtre est ouverte. Au niveau des fenêtres justement, le fait de fermer les volets entraîne jusqu'à 60 % en moins de déperdition de chaleur. D'où l'intérêt d'avoir un système capable de gérer automatiquement volets et stores bannes selon la saison : faire entrer le soleil en hiver, s'en protéger en été. Ce qui permet de se passer de climatisation…

3 Comment agir sur l'éclairage pour limiter la consommation d'électricité ?

La domotique agit sur la gradation de la lumière artificielle en fonction de la luminosité naturelle, explique Bruno Lafitte, ingénieur éclairage à l'Ademe : « *C'est encore peu utilisé. Or il y a un bon potentiel d'économies d'énergie si l'on est souvent chez soi, par exemple en télétravail. Il s'agit de lampes à diode électroluminescente, ou LED, dispositif le moins gourmand en énergie, dont l'intensité varie en fonction de la lumière du jour. En effet, elles sont équipées d'un détecteur qui fait en sorte que la lumière dans l'habitat soit constante. Certes, ces luminaires sont plus chers, mais si on* ▸

Japon | EXPO 2025

INCONTOURNABLE !

CROISIÈRE DE TOKYO A HONG KONG AVEC L'EXPOSITION UNIVERSELLE D'OSAKA

Le Japon, ses temples, ses geishas, le mont Fuji et... en 2025, **son exposition universelle à Osaka.** Sciences et Avenir – La Recherche ne pouvait pas manquer cette occasion d'inviter ses lecteurs – et beaucoup d'autres – à une croisière permettant à la fois de découvrir l'extraordinaire ville impériale de Tokyo, mais aussi de voguer le long des côtes de l'archipel, avant de mettre le cap vers la Chine.

Un voyage particulièrement remarquable proposé à bord du Regatta, un bateau luxueux et à taille humaine (333 cabines), dont les multiples escales ont de quoi faire rêver et réfléchir.

Osaka, Hiroshima (où l'on visitera le mémorial de la Paix), **Nagasaki, Shanghai** (où l'on restera pendant deux jours), **Hong Kong. Osaka** sera l'occasion unique de découvrir l'événement mondial réunissant 160 pays que constitue **l'exposition universelle.**

« Concevoir le futur, imaginer notre vie de demain », tel est son thème, particulièrement évocateur pour Sciences et Avenir – La Recherche et tous ceux qui se passionnent pour l'évolution actuelle de l'Asie.

En avant pour le pays du Soleil Levant !

Dominique LEGLU

NOS SCIENTIFIQUES, SPÉCIALISTES ÉMINENTS, PRÉSENTS (2) AVEC VOUS À BORD

Dr Dominique Leglu
Directrice éditoriale de Sciences et Avenir - La Recherche, pôle Sciences du groupe Challenges.

Dr Francis Rocard
Astrophysicien, responsable du programme d'exploration du système solaire au CNES.

Mme Jozée Sarrazin
Spécialiste de l'Océan et des milieux sous-marins responsable du laboratoire environnement profond à l'Institut Français **Ifremer.**

A BORD DU LUXUEUX MS REGATTA *****
DU 20 MAI AU 03 JUIN 2025

15 JOURS / 14 NUITS
A PARTIR DE **7 390 €/PERSONNE** AU DÉPART DE PARIS
VOTRE PROGRAMME EN TOUT INCLUS (1)

UN ÉVÈNEMENT EXCLUSIF

MYCOMM.

Retrouvez tous les détails de ce voyage exceptionnel sur www.sa-japon.fr
Renseignements | Tél. 01 84 76 22 35 | experiences@mycomm.fr

(1) Voir détails sur la brochure (2) Sous réserve de disponibilité

SARL Mycomm - 40 avenue Raspail - 94250 Gentilly • Immatriculation Atout France IM094100035 • Assurances Professionnelles by Hiscox - Tourisme Pro n° RCE1006 et n° RC1006-PJ0116 • Agence garantie par l'APST • RCS 510 368 400

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

Graph. Atelier Pascale M (26)- Montage photos : Torii - Takeshi Yu Unsplash - Volcan Fuji Freepik - Océania Cruises

SAMUEL MARTIN,
INGÉNIEUR EXPERT BÂTIMENT ET ÉCONOMIES D'ÉNERGIE CHEZ NÉGAWATT*

« Comprendre ce que l'on consomme pour agir plus efficacement »

SP

Quel est l'intérêt principal de la domotique ?
Ces outils permettent de mieux comprendre ce que l'on consomme pour agir plus efficacement. Par exemple, les thermostats des chauffages garantissent une régulation pièce par pièce en captant la température dans chacune d'elles. Or, quand on donne la capacité aux usagers de maîtriser la température ambiante de leur domicile, on constate qu'ils la font baisser au niveau recommandé, soit 19 °C en moyenne.

Comment faire son choix parmi les nombreuses technologies proposées ?
Les plus pertinentes sont celles qui correspondent à ses propres besoins. Il faut donc d'abord réfléchir à ces derniers et aux usages avant d'adopter de tels systèmes. Car cela peut s'avérer contre-productif quand ils sont mal adaptés ou peu maniables. Notamment si l'on ne maîtrise pas bien certains outils domotiques parce qu'ils sont trop complexes. Lorsque l'on n'est pas féru de technologie, mieux vaut privilégier des solutions simples et robustes. C'est vraiment un point clé à ne pas négliger afin que l'économie d'énergie soit effective.

Pourquoi inscrire la domotique dans une démarche plus globale de performance énergétique ?
Pour qu'elle ne soit pas un gadget. Les économies d'énergie à court terme, grâce à la domotique, doivent être combinées à des réductions de la consommation d'énergie à moyen ou long termes. Ces dernières passent par la rénovation thermique de l'habitat ou l'isolation de logements neufs, absolument indispensables. ■

Propos recueillis par S. C.

* Association pour la sobriété et la transition énergétiques.

les utilise souvent, on peut faire 20 % d'économie d'énergie. » Autre solution, les détecteurs de présence : « *Fonctionnant par infrarouge, ils sont plus efficaces que les détecteurs de mouvements,* précise Bruno Lafitte. *Ils coûtent beaucoup moins cher* [à partir de 10 euros environ] *qu'avant et consomment moins. Leur installation est pertinente quand il y a un passage régulier, ni trop fréquent ni trop rare : dans une buanderie, aux toilettes, etc.* »

4 La domotique peut-elle être couplée au photovoltaïque ?

Pour les maisons équipées de panneaux photovoltaïques, un bon complément consiste à utiliser l'électricité générée quand il y a du soleil pour la « stocker » sous forme d'eau chaude dans son chauffe-eau : « *Le cumulus garde alors l'eau pour un usage ultérieur, par exemple la douche,* détaille Marc Jedliczka, porte-parole de l'association négaWatt, qui promeut les économies d'énergie. *Plus généralement, un régulateur programmable intégré à son installation électrique permet de diriger en priorité l'autoproduction vers les appareils que l'on souhaite alimenter au moment où l'ensoleillement est maximal et dont la mise en route est programmée en fonction de ces conditions météo favorables : ballon d'eau chaude, machine à laver le linge, lave-vaisselle, voiture électrique que l'on recharge chez soi, etc.* » Autre usage possible : « *En fonction de l'ensoleillement, un capteur dans le système d'un volet roulant pour fenêtre type Velux fait s'ouvrir ou se fermer le volet pour mieux réguler la température de la pièce sous le toit.* »

5 Quelles sont les aides pour investir dans la domotique chez soi ?

Il n'en existe qu'un seul type, appelé « Coup de pouce pilotage connecté du chauffage pièce par pièce », lancé en fin d'année dernière et prolongé jusqu'au 31 décembre prochain. « *Cette aide financière est conditionnée au fait d'installer des thermostats programmables connectés sur tous les radiateurs de son domicile, qu'ils soient électriques ou hydrauliques,* note Simon Le Coz, directeur adjoint d'Objectif ÉcoÉnergie, société délégataire de certificats d'économie d'énergie. *Elle est calculée sans tenir compte du niveau de revenu mais en fonction de la taille du logement, et non du nombre de pièces ou de radiateurs.* » À noter qu'elle ne concerne pas les systèmes de chauffage collectif ni l'habitat neuf. À titre indicatif, pour une superficie inférieure à 35 m², le montant du coup de pouce atteint 260 euros et, pour une surface supérieure à 130 m², il dépasse 620 euros. Sachant qu'un thermostat d'ambiance programmable coûte entre 25 et 140 euros pour un modèle filaire et de 60 à 250 euros sans fil. Selon l'Ademe, grâce à ces équipements qui évitent de chauffer tous les espaces de manière constante, il est possible d'économiser, chaque année, jusqu'à 270 euros avec un chauffage électrique dont la facture annuelle s'élève à 1800 euros, et jusqu'à 210 euros pour un chauffage au gaz d'un budget de 1400 euros par an. ■

PRIX JEAN DANIEL

LAURÉAT 2024

en partenariat avec

LA POSTE SFA GROUP Marcello

www.prixjeandaniel.com

GLP-1
La molécule miracle

Utilisée dans le traitement du diabète, cette hormone sécrétée par l'intestin est aussi très efficace pour la perte de poids. Et la recherche fonde de grands espoirs pour d'autres pathologies : risques cardio-vasculaires, affections neuronales, maladie du foie gras, dépressions, insuffisance rénale ou apnées du sommeil… Les effets bénéfiques du GLP-1 semblent infinis. Vraiment ?

Dossier conçu par Hugo Jalinière avec
Cécile Coumau, Pierre Kaldy,
Coralie Lemke, Marie Parra

CONTEXTE
Une incroyable success-story
p. 54

FONCTIONNEMENT
Tout commence dans l'intestin
p. 56

APPLICATIONS
Les 7 promesses des GLP-1
p. 58

LEE SMITH/REUTERS

Les médicaments de la classe des analogues du glucagon-like peptide-1 (GLP-1), prescrits depuis vingt ans, permettent d'augmenter la sécrétion d'insuline et de diminuer la glycémie (ici une injection d'Ozempic).

Les GLP-1 : une incroyable success-story

Ils ont décroché le prestigieux graal de « percée de l'année 2023 » décerné par la revue « Science », et pourtant la découverte des analogues des récepteurs du GLP-1 remonte à plus de quarante ans. Une histoire pleine de rebondissements puisque ces antidiabétiques révolutionnent aussi la prise en charge de l'obésité.

Tous les ingrédients d'un bon thriller scientifique sont là ! Découvertes révolutionnaires, rivalités, appétit financier… le tout ponctué de rebondissements en tout genre. Cette histoire digne d'un scénario hollywoodien est celle d'une famille : les agonistes du récepteur du GLP-1 (ou analogues du glucagon-like peptide-1). Une famille qui vient d'être distinguée par la prestigieuse revue *Science*. En décembre dernier, le développement des GLP-1 a en effet été qualifié de *« percée de l'année 2023 »*. Pourtant, l'arbre généalogique de cette famille de médicaments remonte aux années 1980, quand l'endocrinologue canadien Daniel Drucker, son collègue américain d'Harvard Joel Habener, et le médecin danois Jens Juul Holst découvrent l'hormone GLP-1 en étudiant le diabète de type 2. *« Je me souviens très bien de cet article venu d'Allemagne, publié dans une revue internationale,* déclare le Pr Jean-Paul Thissen, endocrinologue aux Cliniques universitaires Saint-Luc, en Belgique. *Elle montrait qu'une prise orale de glucose stimulait davantage la sécrétion d'insuline que la même quantité de glucose administrée en intraveineuse. Cette notion avait été avancée dès 1964 puis était tombée aux oubliettes. Mais, il y avait donc quelque chose dans l'intestin qui potentialisait la production d'insuline. »* Les incrétines venaient de faire leur apparition. Dans cette famille d'hormones sécrétées par le tube digestif, le glucagon-like peptide-1, appelé GLP-1, est identifié. Le trio de chercheurs démontre que cette hormone augmente la sécrétion d'insuline et fait diminuer la glycémie. Son potentiel dans le traitement du diabète est clair. *« Mais, son originalité, c'est qu'elle n'agit qu'en présence d'une forte concentration de glucose*, souligne le Pr Jean-Pierre Riveline, responsable du Centre universitaire du diabète et de ses complications à l'hôpital Lariboisière, à Paris. *Autrement dit, un médicament à base de GLP-1 ne risque pas de provoquer des hypoglycémies. Pour l'industrie du médicament, c'est la poule aux œufs d'or. »*

Mais, le scénario était trop beau pour être vrai. Le GLP-1 est en fait rapidement dégradé par une enzyme, la DPP4, le rendant inactif. Le candidat idéal pour traiter le diabète de type 2 avait du plomb dans l'aile. Une molécule inhibant la DPP4

OZEMPIC

Une pénurie née d'un effet de mode

« *Ne pas mettre en place de nouveaux traitements d'Ozempic jusqu'à nouvel ordre.* » L'Agence nationale de sécurité des médicaments et des produits de santé (ANSM) a pris cette décision en avril, car les tensions d'approvisionnement sont trop fortes. Les nouveaux patients diabétiques sont donc priés de… patienter. Certes, le nombre croissant de diabétiques explique ce risque de pénurie, mais seulement en partie. Les vidéos de stars telles qu'Elon Musk et d'influenceurs s'injectant le médicament pour perdre du poids y sont aussi pour beaucoup. Leurs auteurs ne sont ni diabétiques, ni obèses. *« Cette utilisation pour être beau ou belle sur la place est très critiquable »*, s'insurge Jean-Pierre Riveline. Parce que des malades se trouvent privés de leur médicament, et parce que le mésusage expose à des effets indésirables. C'est pourquoi l'ANSM a créé un comité scientifique temporaire qui mène une réflexion sur la sécurité du patient et sur les conditions de prescription. Il a du pain sur la planche, l'Agence européenne des médicaments ayant annoncé le 28 juin que la pénurie actuelle était un *« problème de santé publique majeur qui ne sera probablement pas résolu en 2024 »*.

PA PHOTOS/ABC/ANDIA.FR

En 30 ans, le taux d'obésité dans le monde a doublé chez les adultes. Les analogues du GLP-1 favorisent jusqu'à 20 % de perte de poids.

a alors été développée, donnant naissance à de nouveaux antidiabétiques, les gliptines. « *Elles font certes baisser la glycémie, mais leur effet cardio-vasculaire et sur le poids est neutre* », déclare Jean-Pierre Riveline.

C'est alors que l'histoire de cette classe de médicaments prend un tournant décisif, avec l'arrivée d'un nouveau protagoniste : le monstre de Gila. Afin de pouvoir développer un médicament à partir du GLP-1, Daniel Drucker a en effet l'idée de s'intéresser au plus gros lézard d'Amérique du Nord. Dès les années 1960, ce reptile, capable de se nourrir seulement 5 à 10 fois par an, a intrigué les chercheurs. D'autant qu'il se distingue aussi par sa salive, contenant des peptides qui régulent la glycémie. La piste du monstre de Gila allait s'avérer fructueuse. Dans son venin se cache une protéine, l'Exendin-4, semblable au GLP-1 mais beaucoup plus résistante. La route pour le médicament était toute tracée. Une fois synthétisée, la protéine du lézard a donné naissance en 2005 au premier-né de la famille des agonistes du récepteur du GLP-1 : l'exénatide. « *Il était indiqué dans le diabète de type 2 et, à l'époque, nous n'imaginions pas ses effets sur l'obésité* », explique Jean-Paul Thissen. L'exénatide allait faire des petits… En 2010, arrive sur le marché le liraglutide, un analogue du GLP-1 humain modifié qui ne nécessite qu'une administration quotidienne. « *Cela a changé la vie de nos patients et la nôtre,* avoue l'endocrinologue. *Au cours de ma carrière, j'ai vu exploser le nombre de cas de diabète de type 2. Nous devions rapidement mettre nos patients sous insuline, et c'est pour la vie. Avec les analogues du GLP-1, nous pouvons éviter cette dernière étape.* »

Mais la success-story était loin d'être finie. Un effet secondaire — pas du tout indésirable — allait constituer un nouveau tournant. En effet, dès les premières études chez l'humain et même chez la souris, une perte de poids significative, de l'ordre de 10 %, est observée. « *En fait, les analogues du GLP-1 ralentissent la vidange gastrique et se fixent sur des récepteurs de la satiété dans le cerveau* », explique Jean-Pierre Riveline. Dans un monde où le taux d'obésité a doublé chez les adultes et quadruplé chez les enfants en trente ans, cet effet n'allait pas passer inaperçu. À peine quatre ans après son arrivée, le liraglutide est autorisé dans une nou-

DANIEL HEUCLIN / BIOSPHOTO

LAURENT THEILLET / SUD OUEST/MAXPPP

« Les analogues du GLP-1 ralentissent la vidange gastrique et se fixent sur des récepteurs de la satiété dans le cerveau »

Jean-Pierre Riveline, responsable du Centre universitaire du diabète et de ses complications à l'hôpital Lariboisière, à Paris

Le venin du monstre de Gila contient une protéine analogue au GLP-1 mais plus résistante. Synthétisée, elle entre dans la composition de l'exénatide.

velle indication : la perte de poids. Et en 2017, la famille s'agrandit avec l'arrivée du sémaglutide, bien connu sous le nom d'Ozempic pour le diabète et de Wegovy pour l'obésité. Avec une seule injection par semaine et des pertes de poids de l'ordre de 15 %, « *c'était du jamais vu* », lâche Jean-Paul Thissen. « *Le nombre de chirurgies bariatriques* [relatives à l'obésité] *a même commencé à baisser* », ajoute-t-il. À partir de là, le scénario s'emballe, les réseaux sociaux s'en mêlent (*lire l'encadré p. 54)*. La course au coupe-faim miracle est ouverte. Et attise l'appétit financier des firmes pharmaceutiques *(lire l'encadré p. 61)*.

Le côté « couteau suisse » des GLP-1 ne cesse de se vérifier

Rien d'étonnant, donc, à ce que le trio de découvreurs du GLP-1 ne soit récompensé en 2021 par un prix prestigieux, le Gairdner, considéré comme l'antichambre du Nobel. Mais cette séquence « paillettes » a été ternie par l'oubli de Svetlana Mojsov, biochimiste à l'université Rockefeller, à New York (États-Unis), qui a pourtant eu un rôle central dans cette aventure. Dans la revue *Science*, elle a avoué avoir été « *vraiment déçue* » à l'annonce du prix. À plusieurs reprises, elle a demandé que des articles sur l'histoire des GLP-1 ne la mentionnant pas soient corrigés. Mais elle « *ne comprend toujours pas pourquoi* » elle a été « *exclue* ».
L'histoire lui rendra peut-être justice. D'autant qu'elle n'est pas finie. Le côté « *couteau suisse* » des GLP-1, comme le nomme Daniel Drucker, ne cesse de se vérifier *(lire p. 58)*. Sans compter que des bi-agonistes, ayant pour cible les récepteurs du GLP-1 mais aussi du GIP, une autre incrétine, arrivent sur le marché et qu'ils favorisent des pertes de poids de l'ordre de 20 %. Reste que ces médicaments ne permettent de guérir ni le diabète, ni l'obésité : 18 mois après l'arrêt du traitement, les patients reprennent environ la moitié de leur poids. ■

C. C.

Tout commence dans l'intestin

L'industrie pharmaceutique a développé des analogues du GLP-1 qui ont décuplé les effets bénéfiques de cette hormone.

À chaque repas, le GLP-1 est sécrété dans le sang par des cellules intestinales en réponse à l'arrivée du chyle, la nourriture partiellement digérée de l'estomac. C'est un signal de mobilisation adressé à l'organisme pour absorber les nutriments. L'action de ce peptide paraissait locale en raison de sa rapide dégradation, mais on s'est aperçu qu'elle était bien plus étendue. « *Dans les années 2000, nos recherches ont montré qu'avant d'agir par le sang, il active les terminaisons du nerf vague en contact avec les cellules intestinales* », témoigne Rémy Burcelin, de l'Institut des maladies métaboliques et cardio-vasculaires, à Toulouse. À travers le nerf vague, lien déterminant entre l'appareil digestif et le cerveau, le GLP-1 va mobiliser en quelques secondes de multiples acteurs de la digestion. C'est le cas notamment du pancréas, qui libère alors dans le sang de l'insuline, l'hormone qui stimule l'absorption du glucose par les cellules de l'organisme. Le GLP-1 induit aussi un ralentissement des mouvements du tube digestif et de la vidange gastrique, ce qui ralentit la progression des aliments et procure une sensation de satiété par l'étirement de la paroi de l'estomac.

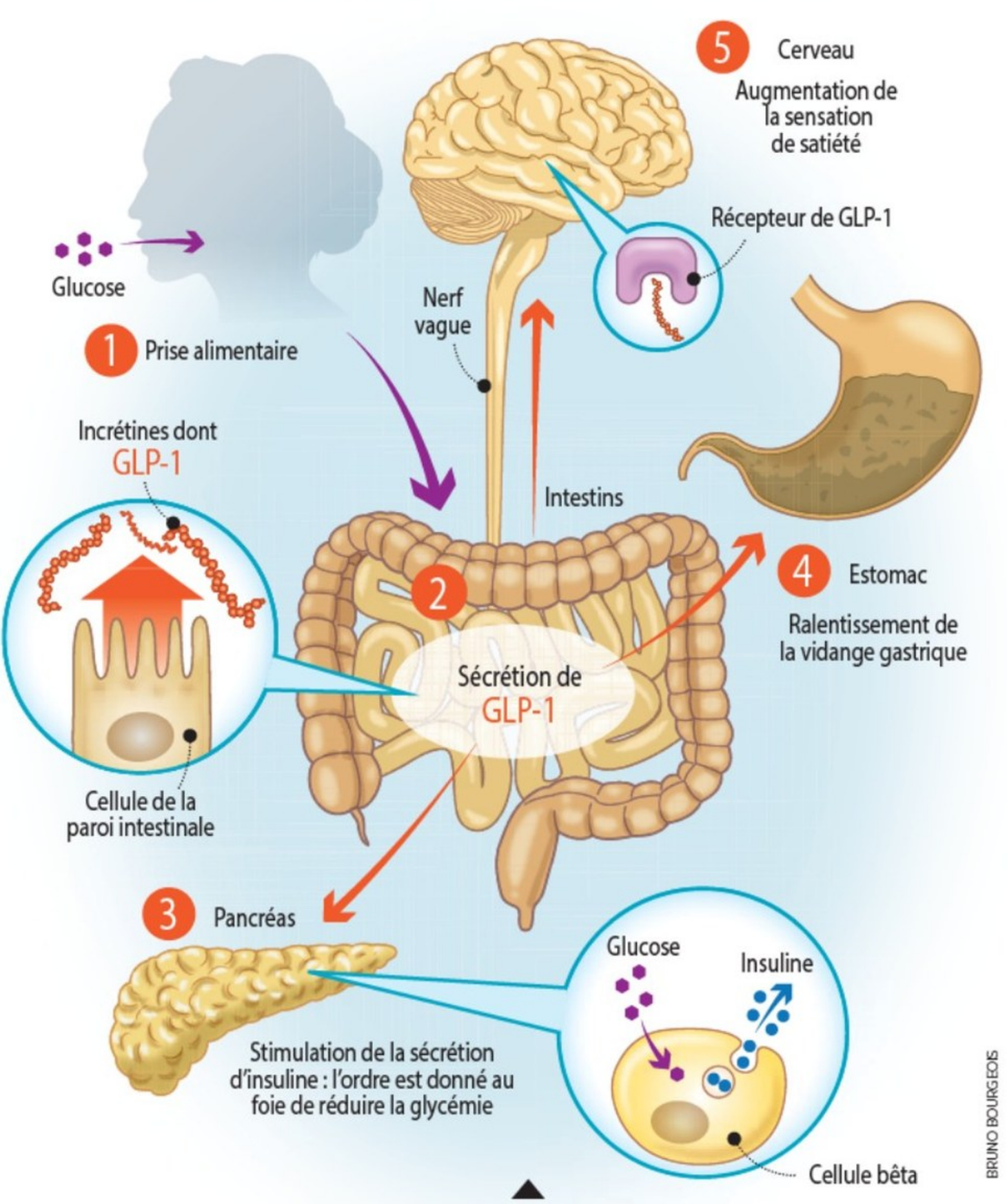
Pour prolonger ces effets et rétablir la production d'insuline chez des personnes ayant un diabète de type 2, l'industrie pharmaceutique a développé des analogues du GLP-1 beaucoup plus stables dans le sang. Sa durée de vie est alors passée de quelques minutes à plusieurs jours. « *Ces formes modifiées ont présenté une efficacité surprenante, largement supérieure à tout ce que l'on attendait, et révélé plusieurs effets imprévus* », pointe Rémy Burcelin. Après des mois de traitement quotidien ou hebdomadaire et une meilleure hygiène de vie, le métabolisme des personnes diabétiques traitées s'est normalisé, avec non seulement le retour à une glycémie normale mais aussi une baisse sensible du poids chez des patients souvent obèses. Le risque d'accident cardio-vasculaire et de problèmes rénaux, plus élevé chez les personnes diabétiques, a également chuté, de même que celui de développer divers cancers. Ces effets bénéfiques des analogues du GLP-1 s'expliquent en partie par le fait que le récepteur du GLP-1 est répandu dans l'organisme, présent notamment au niveau des systèmes nerveux et cardio-vasculaire, des poumons, des reins et peut-être du tissu osseux.

C'EST PHILIPPE GROLLIER/PASCO

« Ces formes modifiées ont présenté une efficacité surprenante, largement supérieure à tout ce que l'on attendait »

Rémy Burcelin, chercheur à l'Institut des maladies métaboliques et cardio-vasculaires, à Toulouse

Une hormone chef d'orchestre



BRUNO BOURGEOIS

En réponse à la prise alimentaire, des cellules intestinales produisent du GLP-1, qui stimule, par la voie sanguine et en activant le nerf vague, la production et la libération d'insuline par le pancréas. Toujours sous l'effet de cette hormone, l'estomac réduit la vidange gastrique, ce qui contribue à la sensation de satiété induite aussi *via* le nerf vague dans le cerveau.

La grande stabilité des analogues du GLP-1 leur permet d'atteindre et de stimuler de nombreuses cibles, avec des effets que l'on commence à explorer. Normalement, le nerf vague stimulé par le GLP-1 dans l'intestin active des neurones au niveau du bulbe cérébral, le peptide agissant alors sous forme de neurotransmetteur. Cette action est court-circuitée par les formes stables du GLP-1 capables de passer dans le cerveau. Elles activent alors directement certaines régions comme l'hypothalamus, qui module le comportement alimentaire et la prise de poids à long terme. La sensation de faim va disparaître et, chez les personnes obèses, la vue de la nourriture ne va plus activer une région de leur cerveau associée à la satisfaction. Les nausées et crampes d'estomac, dues notamment à la suractivation du nerf vague en périphérie, vont aussi réduire le désir de s'alimenter. À la longue, tous ces effets contribuent à la spectaculaire baisse de poids observée après plusieurs mois de traitement. Sur les plans cardio-vasculaire et cérébral, l'absorption du glucose est facilitée, ce qui redonne aux cellules l'énergie nécessaire pour retrouver un fonctionnement normal. Le signal transitoire d'assimilation du glucose fourni à chaque digestion par la libération d'insuline est devenu permanent. Il remobilise les cellules tout en réduisant l'inflammation des tissus.

L'entrée dans une nouvelle ère thérapeutique

« Ces travaux ont aussi eu le mérite de redonner ses lettres de noblesse à l'intestin, dont les cellules entéro-endocrines produisent de nombreuses hormones qui participent à la digestion et à l'assimilation des aliments », souligne Rémy Burcelin. C'est le cas du GIP, autre incrétine — hormone sécrétée par le tube digestif — capable d'induire la production d'insuline par le pancréas en présence de glucose. Les succès obtenus avec les analogues du GLP-1 ont motivé le développement de nouvelles molécules stables capables de se fixer également au récepteur du GIP, et même parfois aussi au récepteur du glucagon, une autre hormone du pancréas qui active la libération d'insuline.

Ces nouveaux produits testés par l'industrie pharmaceutique, tels que le retatrutide du laboratoire Eli Lilly, paraissent encore plus prometteurs pour faire chuter le poids chez des personnes adoptant par ailleurs une meilleure hygiène de vie. Ils pourraient à terme concurrencer la chirurgie bariatrique, désormais très répandue en Occident, où une partie de l'estomac est réduite pour induire plus rapidement la sensation de satiété. *« Nous entrons dans une nouvelle ère thérapeutique, mais il faudra surveiller les réactions à long terme de l'organisme après une telle manipulation du métabolisme »*, prévient cependant Rémy Burcelin. ■

P. K.

Les 7 promesses des GLP-1

Uniquement indiqués contre le diabète ou l'obésité jusqu'à présent, les médicaments analogues du GLP-1 pourraient se révéler bénéfiques pour de nombreuses autres maladies. Passage en revue des perspectives.

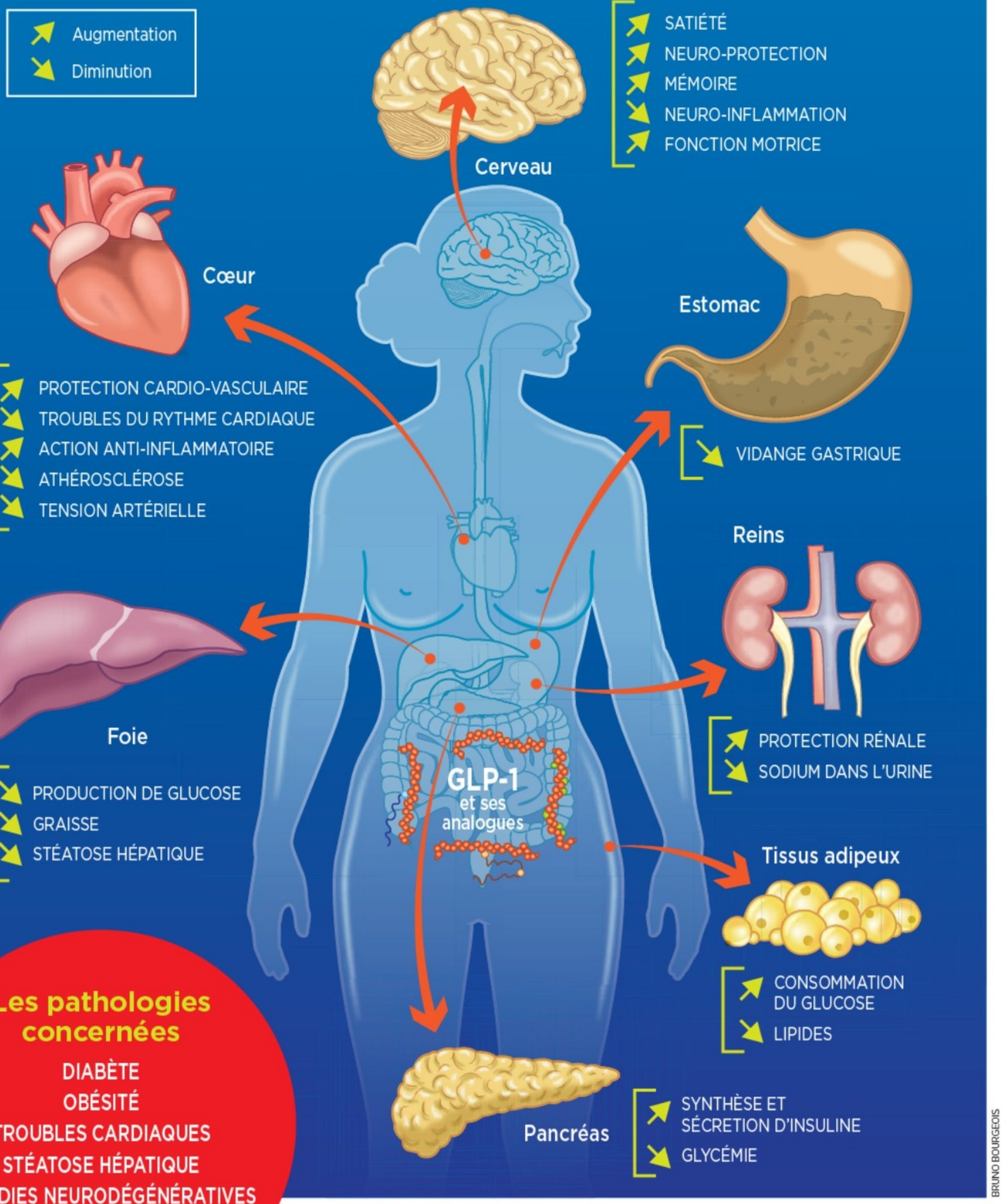
Depuis environ un an, pas un mois ne passe sans qu'une, voire plusieurs études ne rapportent l'exploration de nouveaux effets potentiellement bénéfiques — ou pas — des médicaments analogues du GLP-1, aujourd'hui uniquement indiqués contre le diabète ou certains cas d'obésité. En 2023, quelque 2200 publications ont ainsi été référencées, en prenant également en compte celles qui explorent les risques d'effets indésirables. Un chiffre bien parti pour dépasser les 3000 au cours de l'année 2024. Pour la plupart d'entre elles, les données cliniques sont encore ténues. Mais il existe une effervescence certaine de la recherche biomédicale autour de ces molécules (sémaglutide, liraglutide, dulaglutide…). Des risques cardio-vasculaires aux maladies neurodégénératives en passant par la maladie du foie gras (stéatose hépatique), les dépressions voire les addictions ou les apnées du sommeil, la fertilité…, c'est cette surprenante diversité qui nous fait évoquer une « molécule miracle ». Le genre de choses dont il faut d'abord se méfier, donc. Reste que la possibilité de la voir repositionnée sur d'autres indications est aujourd'hui crédible.

1 Améliorer la santé cardio-vasculaire

C'est la piste la plus solide évoquée à ce jour. Celle où les données sont les plus convaincantes. Les analogues du GLP-1 présenteraient un bénéfice significatif sur la santé cardio-vasculaire. Logique, pourrait-on dire, puisque celle-ci est fortement influencée par l'obésité et le diabète. Reste que les bénéfices observés vont au-delà du simple effet collatéral. C'est d'ailleurs bien la découverte de cet effet cardio-vasculaire qui a décidé la revue *Science* à faire de cette classe de molécules son *breakthrough* (sa percée) de l'année 2023. Un essai en particulier, publié mi-décembre dans le *New England Journal of Medicine*, a montré une réduction du risque cardio-vasculaire chez des patients en surpoids ou obèses mais sans être atteints d'un diabète de type 2. Il a été mené sur 17 604 personnes et après un suivi de plus de trois ans, les chercheurs ont pu confirmer que le traitement s'était avéré supérieur au placebo pour « *réduire l'incidence de décès d'origine cardio-vasculaire, d'infarctus du myocarde non mortel ou d'accident vasculaire cérébral (AVC) non mortel* ». Un risque diminué de 20 % sur ces deux derniers accidents. L'essai a été financé par le laboratoire Novo Nordisk qui commercialise le sémaglutide, principe actif de ses médicaments phares contre le diabète (Ozempic) ou pour la perte de poids (Wegovy), mais il a été conduit avec une méthodologie solide par des médecins et universitaires américains et britanniques. Il fait état d'effets indésirables graves, dont des troubles cardiaques chez 1008 patients traités par sémaglutide, mais aussi 1184 chez ceux recevant le placebo. Quoi qu'il en soit, c'est le premier à confirmer le bénéfice cardiaque chez des patients obèses ou en surpoids sans diabète. Et cela, au-delà de la perte induite par le traitement. Selon les chercheurs, cela pourrait être dû à un effet anti-inflammatoire sur le système vasculaire limitant les dépôts conduisant à l'athérosclérose, des plaques se formant à l'intérieur des vaisseaux sanguins. D'autres essais plus petits ont montré en 2023 que les analogues du GLP-1 ▶

Un essai publié mi-décembre a montré une réduction du risque cardio-vasculaire chez des patients en surpoids ou obèses dépourvus de diabète de type 2

Organe par organe, une action ciblée



Les pathologies concernées

DIABÈTE
OBÉSITÉ
TROUBLES CARDIAQUES
STÉATOSE HÉPATIQUE
MALADIES NEURODÉGÉNÉRATIVES
TROUBLES DU COMPORTEMENT
MALADIES RÉNALES

Les récepteurs sur lesquels agit le GLP-1 se situent principalement dans le cerveau, mais aussi dans de nombreux organes. Les cibles du traitement sont ainsi variées, ce qui le rend potentiellement bénéfique dans un large éventail de pathologies.

BRUNO BOURGEOIS

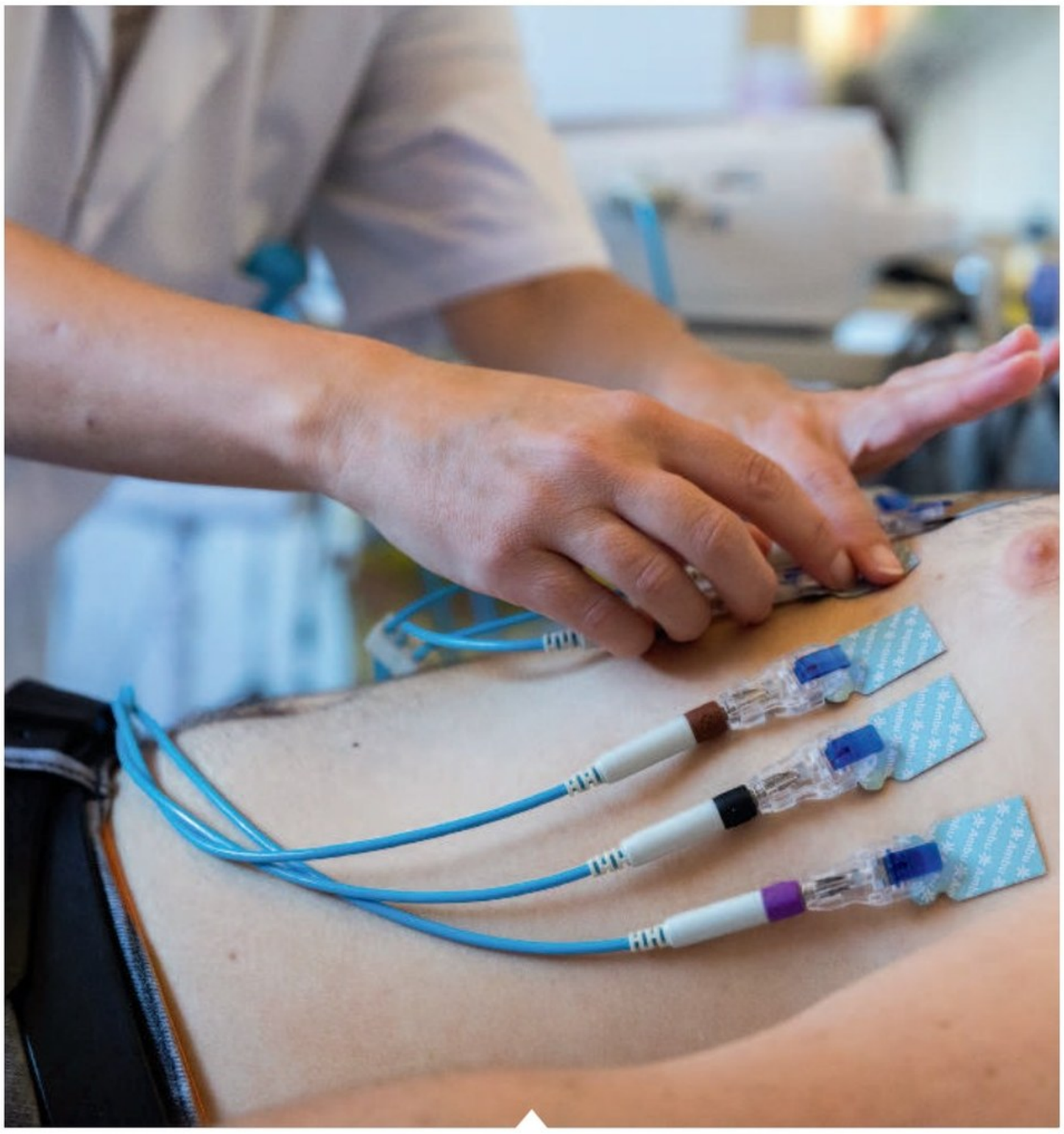
agissent également contre l'insuffisance cardiaque. Ainsi, selon une étude portant sur 529 personnes souffrant d'obésité et d'insuffisance cardiaque publiée dans le *New England Journal of Medicine*, le sémaglutide va jusqu'à doubler la performance du cœur des malades.

2 Un superpouvoir sur le cerveau vieillissant

Plusieurs essais cliniques ont récemment confirmé ce que l'on soupçonnait depuis une dizaine d'années : les analogues du GLP-1 peuvent ralentir la progression de la maladie de Parkinson. « *C'est la première fois que des médicaments traitent autre chose que les symptômes de cette grave affection liée à la perte des neurones dopaminergiques* », témoigne le spécialiste de la maladie Erwan Bézard, de l'Institut des maladies neurodégénératives de Bordeaux. En 2013, des patients qui avaient reçu pendant un an une forme stable du GLP-1 ont vu leur état s'améliorer au terme d'un premier essai clinique effectué par des chercheurs britanniques de l'University College de Londres.

Plusieurs raisons avaient motivé cet essai du premier analogue stable du GLP-1 disponible sur le marché, l'exénatide, initialement développé pour traiter le diabète de type 2. Tout d'abord, le GLP-1 était déjà connu pour protéger les neurones et stimuler leur croissance aussi bien *in vitro* que chez la souris. Il s'était même avéré efficace pour traiter plusieurs modèles de la maladie de Parkinson chez cet animal. Cet effet pouvait s'expliquer par la présence du récepteur du GLP-1 dans plusieurs régions du cerveau et par le fait que les analogues du GLP-1 sont capables de franchir la barrière hémato-encéphalique. Ensuite, cet essai était directement possible sur des patients car l'exénatide était déjà utilisé depuis des années contre le diabète sans avoir d'effets indésirables particuliers. « *Cette expérience a aussi montré que l'effet protecteur des analogues se maintenait après le traitement, ce qui est totalement inédit dans le cas de cette pathologie dégénérative* », souligne Erwan Bézard. Plusieurs essais cliniques ont ensuite confirmé ce résultat avec d'autres analogues du GLP-1 commercialisés. De plus, il est apparu que les diabétiques ont un risque nettement moins élevé de déclarer une maladie de Parkinson quand ils sont traités avec ces produits.

S'ils ne ciblent aucune molécule toxique, ces médicaments ont un effet anti-inflammatoire plus général, dû notamment au fait que le GLP-1 facilite l'action de l'insuline sur les cellules cérébrales. « *Son action corrige la résistance à cette hormone retrouvée dans*



THOMAS LOUAPRE / DIVERGENCE

La performance du cœur de malades souffrant d'obésité et d'insuffisance cardiaque a été nettement améliorée grâce au sémaglutide, selon une étude de 2023.

F.GUÉNET/DIVERGENCE

« L'effet protecteur des analogues se maintient après le traitement, ce qui est totalement inédit dans le cas de Parkinson »

Erwan Bézard, spécialiste de la maladie de Parkinson à l'Institut des maladies neurodégénératives de Bordeaux

les maladies neurodégénératives qui induit une baisse du métabolisme du glucose et une inflammation du tissu cérébral », précise Erwan Bézard.

3 Addictions et dépression : de surprenants effets

Le GLP-1 s'exprime si largement dans le cerveau qu'il pourrait se trouver utile contre les addictions ou la dépression. « *On trouve des récepteurs spécifiques à cette hormone dans de nombreuses aires cérébrales, notamment celle qui est liée aux mécanismes de récompense* », dévoile Nicolas Marie, chercheur au CNRS et spécialiste des addictions. Dès les études précliniques des années 2010, les scientifiques ont constaté que le GLP-1 pouvait désamorcer les comportements addictifs. Qu'ils concernent les opioïdes, les psychostimulants ou l'alcool… « *Ces premiers résultats sur l'animal se confirment peu à peu chez l'humain, grâce à des études rétrospectives* », ajoute l'addictologue. Les chercheurs y examinent le dossier de patients auxquels ont été prescrits des analogues du GLP-1 pour traiter par exemple un diabète. « *Ces analyses montrent que les patients qui prenaient une drogue ont diminué voire arrêté leur consommation après la prise du traitement* », ajoute-t-il. En mai dernier, l'analyse des dossiers médicaux d'une cohorte de plus de 80 000 personnes obèses a ainsi révélé une diminution de 50 % de la consommation d'alcool chez des personnes traitées avec du sémaglutide, par rapport à des patients traités avec d'autres médicaments contre l'obésité.

Mais les effets du GLP-1 dans le cerveau ne s'arrêtent pas là. Les résultats de plusieurs études, dont la dernière date de février, indiquent une amélioration de l'humeur, de l'anxiété et des symptômes de la dépression chez les patients traités avec ces hormones. « *Les chercheurs ont d'abord pensé que c'était la perte de poids qui améliorait le bien-être des patients. Mais en réalité, le GLP-1 agit aussi directement dans les aires cérébrales liées au contrôle des émotions* », relate Nicolas Marie. Explication biologique : on trouve des récepteurs du GLP-1 dans le cortex préfrontal, l'hippocampe et l'amygdale, des aires cérébrales impliquées dans la fonction cognitive et le contrôle émotionnel. D'après cette dernière étude rétrospective américaine, les personnes obèses et non diabétiques prenant du sémaglutide verraient ainsi leur probabilité de souffrir d'une dépression réduite de 37 %. Les IRM des participants d'une autre étude canadienne révèlent même une augmentation de volume de l'aire cérébrale liée à la gestion des émotions.

« *Ce traitement ne conviendra pas à tous les patients. Les troubles dépressifs et addictifs sont difficiles à soigner car l'efficacité des médicaments varie largement d'un individu à l'autre. C'est pourquoi l'industrie pharmaceutique délaisse souvent ces types de traitement. Toutefois, si ces résultats sont confirmés, les analogues du GLP-1 ouvriront une nouvelle voie, augmentant ainsi les chances de trouver un traitement adapté chez ces patients* », conclut Nicolas Marie.

GROUPES PHARMACEUTIQUES

Le business de l'obésité tourne à plein régime

Dopé par ses antidiabétiques Ozempic et Wegovy, utilisés comme remèdes miracles contre l'obésité, Novo Nordisk a atteint le firmament en Bourse. L'action du laboratoire danois a quasi quadruplé en trois ans. À plus de 450 milliards d'euros aujourd'hui, sa valorisation a même dépassé le PIB du Danemark ! Le titre de son seul concurrent à ce jour, l'américain Eli Lilly qui mise sur les résultats spectaculaires de son traitement Mounjaro dans la perte de poids, a, lui, plus que doublé en un an, passant le cap des 900 dollars. L'engouement frénétique des marchés n'est pas près de retomber. Car Novo Nordisk et Eli Lilly font la course en tête dans le business ultralucratif — aux prix où s'arrachent ces médicaments, surtout outre-Atlantique (plus de 1000 dollars par mois, soit un peu plus de 900 euros) — de la lutte contre l'obésité. D'après Morgan Stanley, le pactole dépassera les 77 milliards de dollars dans le monde en 2030, contre 2,4 milliards en 2022. Et déjà, l'eldorado vire au far west aux États-Unis, où ces produits amaigrissants se trouvent facilement en ligne, sur Amazon Pharmacy ou des sites délivrant une ordonnance à partir d'un simple questionnaire. Le cap est maintenant mis sur la France : Novo Nordisk a annoncé investir 2,1 milliards d'euros dans son site de Chartres (Eure) pour produire le Wegovy, tandis qu'Eli Lilly injecte 160 millions d'euros dans son usine de Fegersheim (Bas-Rhin) qui fabriquera le Mounjaro à partir de 2026. Reste un défi crucial : obtenir le remboursement par la Sécurité sociale afin de soutenir la demande. Leurs dossiers sont à l'étude.

Isabelle de Foucaud, « Challenges »

4 Un atout contre l'insuffisance rénale

L'insuffisance rénale étant une complication classique du diabète de type 2, il semble moins surprenant de relever l'intérêt des analogues du GLP-1 pour préserver les reins des patients diabétiques. Un essai international mené à travers 28 pays et publié en mai dans le *New England Journal of Medicine* a révélé que le sémaglutide apportait bien un bénéfice supplémentaire très net par rapport aux soins standard pour empêcher l'évolution de cette néphropathie diabétique. *« Il s'agit du premier essai qui pose spécifiquement la question de savoir si cette classe de médicaments protège le rein, et les résultats ont clairement montré que c'est le cas »*, déclarait alors l'auteur principal de l'étude, Vlado Perkovic, chercheur en néphrologie à l'université de Nouvelle-Galles du Sud à Sydney (Australie). Au point qu'un arrêt précoce de l'essai a été décidé après analyse des résultats intermédiaires. Concrètement, le groupe recevant le sémaglutide avait un risque de survenue d'événements rénaux majeurs diminué de 24 % par rapport au groupe placebo. Un surcroît d'efficacité qui tiendrait, là encore, à un effet anti-inflammatoire direct provoqué par l'activation des récepteurs GLP-1 à la surface de cellules immunitaires, les lymphocytes T. *« Ces résultats sont très prometteurs pour remodeler les stratégies de traitement pour les personnes à haut risque de complications, offrant une nouvelle voie pour la protection rénale »*, a assuré Vlado Perkovic lors de la présentation de l'essai au 61e Congrès de l'Association européenne du rein (Era), qui s'est tenu en mai à Stockholm (Suède).

UNSW/DR

« Les résultats d'un premier essai ont clairement montré que cette classe de médicaments protège le rein »

Vlado Perkovic, chercheur en néphrologie à l'université de Nouvelle-Galles du Sud à Sydney (Australie)

5 Les patients VIH soulagés

En mars, des travaux inédits ont révélé que les analogues du GLP-1 ont également une action positive chez les personnes porteuses du VIH. Environ 30 à 40 % d'entre elles sont affectées par une dysfonction métabolique : la maladie du foie gras ou stéatose hépatique, qui se caractérise par une accumulation de graisse dans le foie. Plus la maladie progresse et plus le risque d'insuffisance hépatique et de maladies cardiaques est élevé. *« Les personnes séropositives présentent des formes de maladie du foie gras plus agressives que les autres »*, précise Jordan Lake, spécialisée dans les maladies infectieuses à l'université du Texas (États-Unis), dans la revue *Nature*. Pour l'instant, aucun médicament n'a été approuvé pour traiter ce problème. Mais l'hormone GLP-1 semble prometteuse. Dans un essai clinique mené chez 222 personnes séropositives recevant un traitement contre le VIH, une injection de GLP-1 toutes les semaines pendant six mois a permis à 29 % d'entre elles de se rétablir de leur stéatose hépatique. Au-delà du foie, l'hormone semble capable d'éliminer significativement la graisse abdominale chez les personnes séropositives. *« La graisse abdominale associée à une inflammation élevée dans le corps entraîne un risque cardio-métabolique plus élevé »*, précise Allison Eckard, de l'université médicale de Caroline du Sud (États-Unis).
Enfin, pour les participants de cet essai, les marqueurs d'inflammation dans le sang avaient baissé de 40 % par rapport à ceux qui n'ont pas eu accès à la molécule. Or, même chez les personnes dont le VIH est bien contrôlé, un état d'inflammation chronique peut engendrer toutes sortes de maladies dans les organes, le cœur, les reins, mais aussi le cerveau ou le foie.

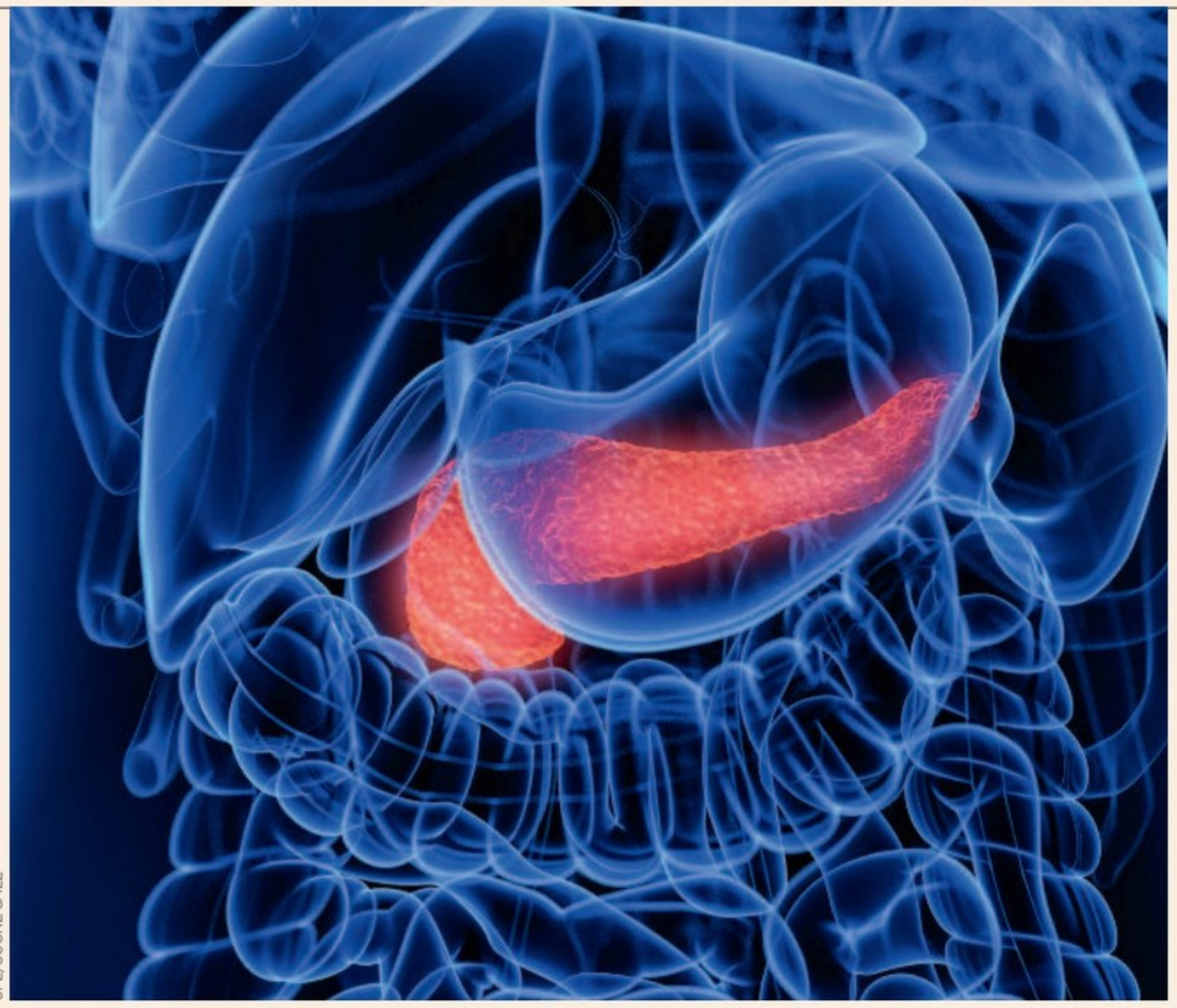
6 Réduire les apnées du sommeil

C'est l'une des dernières indications explorées. Une étude publiée en juin révélait que le tirzépatide commercialisé par le laboratoire Eli Lilly avait permis de réduire de 60 % les apnées du sommeil. Comme pour les troubles cardio-vasculaires, difficile de distinguer ▶

FERTILITÉ

Des « bébés Ozempic », vraiment ?

Le #ozempicbaby a fleuri sur les réseaux sociaux au sujet de femmes qui attribuent leur grossesse à la prise du médicament. Ces grossesses surprises, voire non désirées, chez des femmes infertiles ou prenant la pilule interrogent, au point que la revue *Nature* a avancé plusieurs hypothèses en juin. Tout d'abord, une perte de poids peut contribuer à rétablir le cycle menstruel chez des femmes obèses. Ensuite, le ralentissement de la vidange gastrique peut modifier l'absorption des médicaments, et donc de la pilule. *« Les données d'Eli Lilly pour le tirzépatide* [un GLP-1 pas encore commercialisé en France] *ont montré qu'il réduisait la concentration maximale de contraceptif dans le sang jusqu'à 66 % après une dose unique »*, précise *Nature*. Enfin, le GLP-1 stimule la production de l'hormone lutéinisante, associée à l'ovulation.



SPL/SUCRÉ SALÉ

◄ **Le risque de contracter** une pancréatite avec les GLP-1 est 9 fois supérieur à celui d'un traitement anti-obésité sans GLP-1.

RISQUES

Des effets secondaires à surveiller

Les plus fréquents sont d'ordre gastro-intestinal (nausées, diarrhée, régurgitation). Mais les agonistes des récepteurs du GLP-1 peuvent aussi provoquer une hypoglycémie, voire une pancréatite.

Personne n'a oublié l'affaire du Mediator et les scandales à répétition liés aux coupe-faim ont laissé des traces. Le GLP-1 pourrait-il être le suivant ? « *Nous disposons d'environ vingt ans de recul avec cette classe de médicaments. Or, les effets indésirables graves des coupe-faim sont apparus, pour la plupart, dans les quinze ans* », rassure l'endocrinologue Jean-Paul Thissen. Cependant, comme tout médicament, les agonistes des récepteurs du GLP-1 ont des effets secondaires. Les plus fréquents sont d'ordre gastro-intestinal. Une revue de 76 études publiée en janvier dans le *British Medical Journal* montre qu'avec le sémaglutide, le risque de diarrhée est doublé par rapport au placebo, celui de nausée est multiplié par trois et celui de vomissements quadruplé. Ces troubles conduisent certains patients à abandonner le traitement, mais ces effets secondaires tendent à diminuer avec le temps et sont minorés avec une augmentation progressive des doses. Ils sont dus aux gastroparésies, c'est-à-dire au ralentissement de la vidange gastrique induite par ces médicaments. En 2023, des chercheurs canadiens ont comparé l'incidence des gastroparésies de plusieurs GLP-1 au traitement classique de l'obésité (bupropion, naltrexone) et les résultats publiés dans la revue *Jama* sont clairs : il y a deux fois plus de gastroparésies avec le Saxenda, et trois fois plus avec l'Ozempic. Cette moindre mobilité des muscles de l'estomac est responsable d'un autre effet indésirable, plus grave mais beaucoup plus rare : le risque de régurgitation et donc d'inhalation bronchique du bol alimentaire lors d'une anesthésie, et ce malgré l'instauration d'un jeûne de 18 heures. C'est pourquoi la Société américaine d'anesthésie recommande d'interrompre la prise de GLP-1 24 heures à une semaine avant une intervention (selon le schéma de prescription). Autre effet secondaire considéré comme très fréquent : l'hypoglycémie, si les antidiabétiques sont associés à un sulfamide hypoglycémiant ou à l'insuline, qu'il faut alors arrêter.

Des pertes de densité osseuse et de volume du visage

Mais la menace la plus sévère est la pancréatite : d'après l'étude parue dans le *Jama*, une inflammation du pancréas se manifeste dans 4,6 cas sur 1000 avec le sémaglutide et dans 7,9 cas avec le liraglutide. Un risque globalement neuf fois supérieur comparé à un traitement anti-obésité sans GLP-1. Quant à la menace d'occlusion intestinale, elle était multipliée par quatre. Enfin, une perte de poids importante, obtenue avec des GLP-1 ou pas, n'est pas anodine pour l'organisme, surtout vieillissant. La résistance osseuse en prend un coup. La densité minérale osseuse diminue significativement, sauf si le traitement est associé à un programme d'activité physique, comme viennent de le montrer des chercheurs de l'université de Copenhague, au Danemark (*Jama Network Open*). Enfin, 15 % de kilos en moins font aussi fondre le visage. L'« *Ozempic face* » commence à inquiéter les chirurgiens esthétiques outre-Atlantique… ■ **C. C.**

l'influence de la perte de poids induite par le médicament d'un autre mécanisme physiologique comme la réduction de l'inflammation. Ces arrêts de la respiration au cours du sommeil sont en effet intimement liés au surpoids. L'excès de tissu adipeux tend à compresser les voies aériennes. « *Au moins 70 % des patients sont en surpoids ou obèses* », rappelle Ron Grunstein, qui dirige le Centre du sommeil et de la chronobiologie (Cirus) à l'université de Sidney, en Australie, et est coauteur de ces nouveaux travaux. Quoi qu'il en soit, « *c'est le premier médicament à montrer un tel degré d'efficacité dans la gestion de l'apnée du sommeil, avec en plus une réduction de la pression artérielle, des lipides et un contrôle de la glycémie* », conclut le professeur.

L'apnée du sommeil est intimement liée au surpoids, car l'excès de tissu adipeux tend à compresser les voies aériennes (ici une patiente parée d'un appareil respiratoire).

GARO/PHANIE

7 Et demain… prévenir le cancer ?

Les analogues du GLP-1 n'ont *a priori* rien de l'anticancéreux de pointe ciblant des cellules tumorales, tant s'en faut. Mais leur prescription contre le diabète a montré qu'ils réduisaient significativement le risque de cancer chez les patients. C'est ce que révèle une étude publiée début juillet dans la revue *Jama*. Celle-ci a consisté à analyser rétrospectivement les données cliniques recueillies entre 2005 et 2018 pour 1 651 452 patients traités pour un diabète de type 2, soit par insuline, soit par un analogue du GLP-1. L'équipe de l'université Case Western Reserve à Cleveland (États-Unis) s'est concentrée sur 13 cancers associés à l'obésité pour savoir si les patients traités à l'aide d'analogues du GLP-1 s'en sortaient mieux que les autres. Et c'est bien le cas, pour dix cancers sur les 13 étudiés : œsophage, pancréas, colorectal, rein, ovaire, vésicule biliaire, foie, méningiome (tumeur des méninges), myélome multiple (cancer des os) et endomètre. En revanche, aucun effet significatif n'a été trouvé par rapport à l'insuline pour les cancers de l'estomac, de la thyroïde et celui du sein chez les femmes ménopausées. Des résultats qui pourraient « *inciter les médecins à préférer les analogues du GLP-1 à d'autres traitements contre le diabète comme l'insuline pour les patients présentant un risque élevé de cancers associés à l'obésité* », indique Rong Xu, coautrice de l'étude. Pas question donc d'en faire un traitement préventif général contre le cancer, bien sûr. Mais peut-être une opportunité de réduire le fardeau chez une catégorie de patients bien précise. Encore faudra-t-il bien mieux cerner ladite catégorie. Car l'enfer est pavé de bonnes intentions…

D'autres études ont par le passé soulevé le risque que les analogues du GLP-1 puissent au contraire accroître le risque de certains cancers. C'est le cas notamment pour la thyroïde. À tel point qu'aux États-Unis, ces molécules sont justement contre-indiquées chez les personnes ayant des antécédents familiaux de cancer médullaire de la thyroïde. Saisi de la question, le comité de pharmacovigilance de l'Agence européenne des médicaments n'a pas pu établir de lien entre les deux. Il ne préconise donc pas de mise à jour de la notice du médicament. Mais l'hypothèse d'un risque reste étroitement surveillée dans l'attente de plus de données. ■ **H. J., P. K., C. L., M. P.**

WOOLCOCK/DR

« Le tirzépatide est le premier médicament à montrer un tel degré d'efficacité dans la gestion de l'apnée du sommeil »

Ron Grunstein, directeur du Centre du sommeil et de la chronobiologie à l'université de Sidney (Australie)

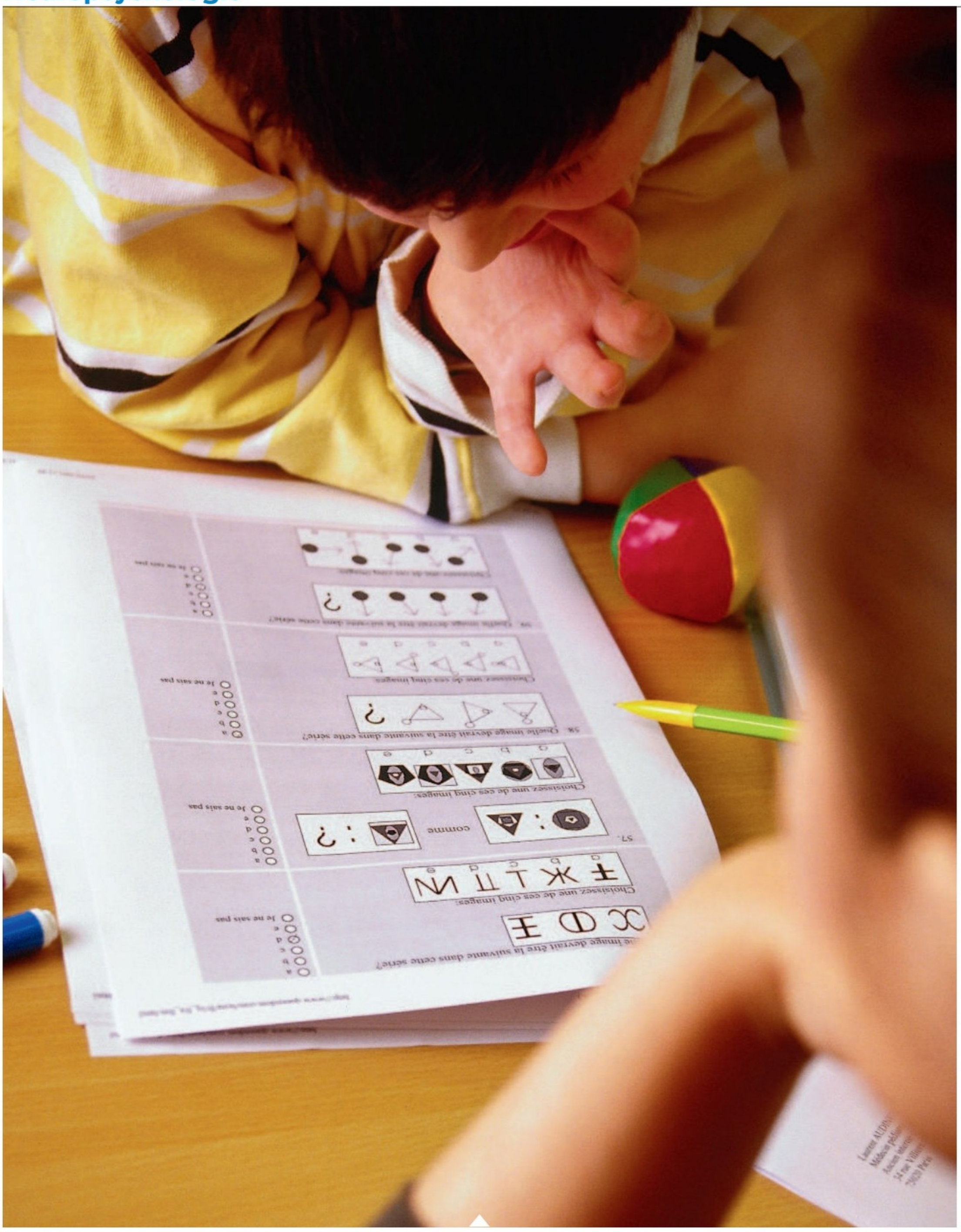
25 SCIENTIFIQUES
PARTICIPENT À CE NUMÉRO

La Recherche

LE MAGAZINE DE RÉFÉRENCE SCIENTIFIQUE

Chez votre marchand de journaux

148 pages
MAGAZINE-LIVRE
Trimestriel



LAURENT/AUBOURG/BSIP

Entre 2007 et 2012, des chercheurs ont fait passer à plus de 30 000 élèves français un test de QI. Celui-ci a permis d'identifier de nombreux HPI parmi les têtes de classe, qui ne montraient aucun problème particulier, contrairement aux idées reçues.

HPI

Le vrai du faux des champions du QI

Ne dites plus surdoué, mais HPI, pour haut potentiel intellectuel. Cette nouvelle identification d'une population caractérisée par un quotient intellectuel de plus de 130 points continue pourtant de véhiculer de nombreux stéréotypes qui les décrivent comme hypersensibles, anxieux et rencontrant des difficultés sociales. Car un décalage existe entre la perception si répandue du HPI à problèmes et les données scientifiques. Décryptage.

Par Camille Gaubert

« *Je connaissais déjà mon alphabet à 2 ans et en grande section je savais lire* », raconte le jeune Sébastien, 12 ans et aujourd'hui en classe de cinquième. Comme environ 2 % de la population, Sébastien est identifié haut potentiel intellectuel (HPI) — un terme qui a remplacé « surdoué », jugé trop stigmatisant par les spécialistes. « *On ne parle pas de diagnostic pour le HPI mais d'identification, car ce n'est pas un trouble* », avertit la docteure en psychologie Catherine Cuche, spécialiste du HPI et coautrice de *Tout savoir sur le haut potentiel* (Mardaga, 2021). Le HPI ne serait donc pas une source de souffrance en soi, à l'inverse des nombreux stéréotypes qui décrivent ces personnes comme hypersensibles, plus anxieuses voire dépressives et rencontrant des difficultés sociales. Les études scientifiques montrent au contraire que le HPI est plutôt un facteur protecteur. « *Contrairement aux idées reçues, le HPI a tendance à diminuer le risque de développer de l'anxiété, un syndrome de stress post-traumatique, ou même la schizophrénie* », énumère Nicolas Gauvrit, enseignant-chercheur en sciences cognitives à l'université de Lille.

Alors, pourquoi ce décalage entre la perception si répandue du HPI à problèmes et les données ▶

scientifiques ? *« Dans le cursus de psychologie, moins d'une heure est consacrée au HPI, donc les professionnels se forment essentiellement avec les livres grand public »*, regrette le chercheur. Un des best-sellers à avoir lancé le mouvement est *Trop intelligent pour être heureux* (Odile Jacob, 2008) de la psychologue clinicienne Jeanne Siaud-Facchin. Le haut potentiel y est décrit comme *« indissociable de l'extrême sensibilité »*, et source de *« fragilité psychologique »*. Or, *« 14 études et au moins trois méta-analyses concluent au contraire qu'il y a plutôt moins d'anxiété chez les HPI »*, relève Nicolas Gauvrit. De même, *« ceux qui travaillent sur l'hypersensibilité estiment qu'elle concerne 20 % de la population, et qu'il n'y en a pas plus chez les HPI »*. Pas plus, mais elle pourrait se manifester différemment. *« L'hypersensibilité peut se retrouver chez n'importe qui, mais pour le haut potentiel, sa cognition va en intensifier le ressenti »*, nuance le psychiatre Hassan Rahioui, chef de service au centre des troubles du neurodéveloppement chez l'adulte du Groupe hospitalier universitaire (GHU) Paris psychiatrie & neurosciences.

Il ne faut pourtant pas y voir de malice de la part des professionnels à l'origine de ces idées biaisées. Pour Nicolas Gauvrit, ils se sont probablement basés sur leur patientèle qui, par définition, ne compte que des HPI en souffrance. La professeure Laurence Vaivre-Douret, spécialiste de neuropsychologie du développement à l'université Paris Cité, clinicienne à l'hôpital Necker-Enfants malades à Paris et responsable d'une équipe de recherche Inserm, nomme cela « le biais de l'enfant consultant » — un concept tout aussi vrai pour les adultes. *« On ne peut pas prendre ceux qui consultent comme une référence de l'enfant HPI ; or, 90 % des études sur le sujet ne se basent que sur cette population »*, pointe-t-elle. Pourtant, lorsque des chercheurs font passer un test de QI à plus de 30 000 élèves français entre 2007 et 2012, de nombreux HPI sont découverts parmi les têtes de classe, qui ne montraient aucun problème particulier.

Un développement cérébral différent, visible dès la naissance

Le décalage ressenti par beaucoup de HPI est dû à un développement différent, visible dès la naissance. Une différence innée dont 20 à 80 %, selon les études, est héritée génétiquement. *« En IRM, on voit que le cortex préfrontal est un peu plus épais, avec plus de neurones chez les HPI que chez la population de contrôle »*, explique Margaux Courrèges, neuropsychologue au GHU Paris psy-

P. ROUX/ITINERAIRE PRODUCTIONS/SEPTEMBRE PRODUCTIONS/TF1

IDENTIFICATION

Comment savoir si l'on est HPI ?

Pour réaliser un bilan de qualité, *« il faut s'adresser à un psychologue clinicien pour le test de QI, voire un neuropsychologue clinicien qui sera capable de détecter en sus d'éventuels troubles du neurodéveloppement »*, affirme Laurence Vaivre-Douret, spécialiste de neuropsychologie du développement à l'université Paris Cité, clinicienne à l'hôpital Necker-Enfants malades à Paris et responsable d'une équipe de recherche Inserm. Elle recommande également de solliciter un psychomotricien DE (diplômé d'État) qui pratique l'évaluation des fonctions neuropsychomotrices (NP-MOT) pour évaluer les troubles moteurs tels que les dyspraxies.

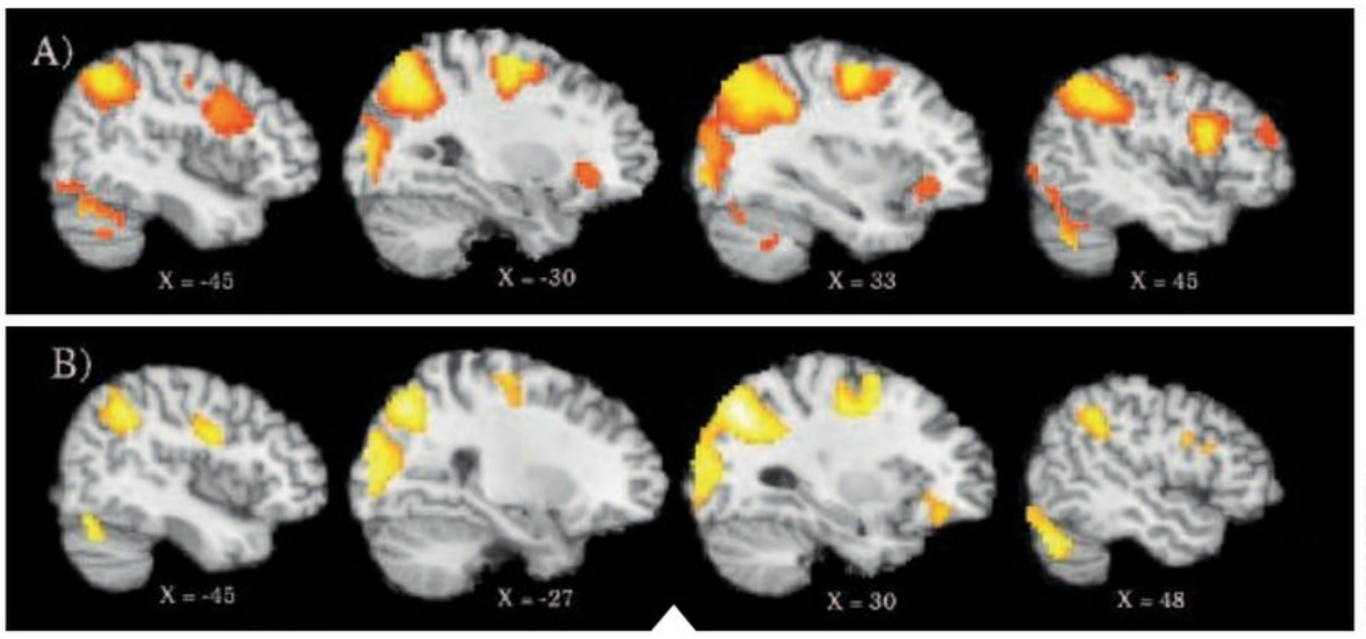
COMPORTEMENT

Audrey Fleurot joue-t-elle une HPI scientifiquement crédible ?

C'est un succès renouvelé qu'a rencontré la 4e saison de la série *HPI* en 2024. Mais l'héroïne, Morgane Alvaro, jouée par l'actrice Audrey Fleurot *(ci-contre)*, est-elle crédible ? *« On se représente souvent les HPI comme le personnage de Morgane, quelqu'un de très réfractaire à l'autorité et avec de fortes compétences intellectuelles, mais on mélange tout »*, corrige la neuropsychologue Nathalie Golouboff. Être HPI n'est pas lié à des traits de caractère, mais à un fonctionnement cognitif particulier, qui s'exprime différemment en fonction des caractéristiques de l'individu. *« Sociables ou pas, facilement en opposition ou adaptables, introvertis ou extravertis, tout est possible chez les HPI. »*

Les facettes « hyperactive » et « intenable » de Morgane pourraient en outre être expliquées par un trouble associé : le TDAH (trouble de l'attention avec hyperactivité).

chiatrie & neurosciences. Le cortex préfrontal est la zone du cerveau qui gère la prise de décision consciente et rationnelle. « *Les personnes HPI engendrent également plus de connexions neuronales dont la vitesse de conduction est plus rapide, avec notamment à une myélinisation plus précoce* », résume Laurence Vaivre-Douret. La myéline est une protéine qui gaine les neurones sur leur longueur de façon à conduire efficacement le signal électrique qui leur sert à transmettre l'information. Résultat : les nouveau-nés HPI sont déjà en avance d'un ou deux mois sur le développement psychomoteur (tonus musculaire, poursuite visuelle, etc.) comparés à un enfant typique, d'après des études rétrospectives réalisées à partir de questionnaires et une analyse des dossiers médicaux d'enfants identifiés HPI à l'âge scolaire. Ensuite, le langage se développera également plus tôt, et de façon plus élaborée. « *Leur curiosité et leurs questionnements les sensibilisent également très vite dans les domaines social et affectif, entraînant une empathie et une compréhension de l'autre plus précoces* », observe Laurence Vaivre-Douret. Mais ce développement rapide ne se traduit pas forcément par des performances homogènes sur tous les plans.



J. PRESCOTT ET AL.

L'IRM a mis en évidence une connectivité cérébrale plus importante chez des adolescents HPI doués en mathématiques (en haut) dans plusieurs régions du cerveau, comme la région frontopariétale. Elle leur permettrait une meilleure mémoire de travail et un raisonnement plus fluide que chez des adolescents neurotypiques (en bas).

Un fonctionnement cognitif atypique pas si rare

Chez l'adulte comme chez l'enfant, un profil HPI est caractérisé par un QI global de 130 ou plus (100 étant le score moyen de la population de référence). On le dit hétérogène en cas d'écart de 29,5 points ou plus entre les indices évalués — par exemple, 115 points en mémoire de travail et 147 en compréhension verbale. Difficile dans ce cas de savoir s'il est pertinent de qualifier l'ensemble en fonction du QI moyen. Pour cette raison, Catherine Cuche préfère parler de « *zones de haute potentialité* ». « *Un HPI peut se retrouver à l'écart de la norme sur certains critères, et proche dans d'autres* », résume-t-elle. D'où l'importance de détailler les indices évalués sans s'en tenir au seul score global lorsqu'on réalise un test de QI, avec une interprétation personnalisée et remettant en contexte la souffrance, la gêne ou le questionnement à l'origine de la consultation.

Lorsque l'hétérogénéité du QI est très marquée, elle peut cependant faire indirectement, plus tard, le lit de troubles anxieux, dépressifs ou de l'attachement, c'est-à-dire des difficultés relationnelles générées par la sensation de décalage avec son entourage et une mauvaise estime de soi. « *Certes, le HPI n'est pas un diagnostic, mais du point de vue clinique c'est une différence qui peut occasionner une intense souffrance* », avance Hassan Rahioui. Cette difficulté à gérer un fonctionnement cognitif atypique pourrait concerner du monde, car si 2 % des gens ont un QI global au-dessus de 130, plus de 8 % obtiendraient ce résultat sur un seul des indices mesurés par le test, estime Margaux Courrèges. Cela étant, il faut se garder d'associer systématiquement le profil hétérogène à des difficultés psychologiques. « *Rien ne montre qu'un profil homogène serait forcément plus favorable à l'individu en matière de réussite, de motivation ou d'estime de soi* », affirme Catherine Cuche.

L'hétérogénéité, un indicateur potentiel de trouble associé

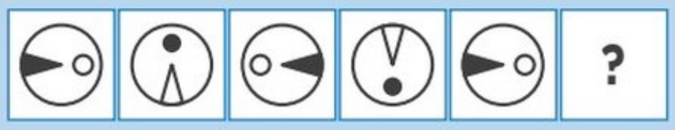
En revanche, chez l'adulte comme chez l'enfant, un profil hétérogène doit toujours inciter le clinicien à envisager le diagnostic d'autres troubles indépendants du HPI qui en altéreraient les performances. « *Nos études montrent que l'hétérogénéité est un indicateur potentiel de trouble associé, comme le TDAH* [trouble de l'attention avec ou sans hyperactivité], *l'autisme ou les troubles dys* », affirme Laurence

L. VAIVRE-DOURET

« Chez l'enfant HPI, la curiosité et les questionnements entraînent une empathie et une compréhension de l'autre plus précoces »

Laurence Vaivre-Douret, professeure en neuropsychologie du développement à l'université Paris Cité

Les 4 parties du test de QI

	COMMENTAIRE	EXEMPLES
1 **Indice de compréhension verbale**	Mesure l'expression et la compréhension verbale du sujet	**Vocabulaire, similitudes et compréhension** « La voiture est à la route ce que le piéton est : à la chaussure / à la marche / au trottoir /au vélo / aux pieds »
2 **Indice de raisonnement perceptif***	Mesure la capacité de raisonnement logique, à identifier des règles de fonctionnement et la bonne manipulation des formes géométriques	**Cubes, matrices, identification de concepts** 
3 **Indice de mémoire de travail**	Mesure la capacité à maintenir en mémoire des informations visuelles et auditives à manipuler	**Mémoire des chiffres, séquence lettres/chiffres** « Répétez la séquence W 8 H 5 F 3 avec d'abord les chiffres dans l'ordre numérique puis les lettres dans l'ordre alphabétique »
4 **Indice de vitesse de traitement**	Mesure la rapidité de la prise de décision et les capacités motrices et d'identification visuelle	**Codes et symboles, vitesse d'exécution** « Le symbole de gauche apparaît-il dans la séquence de droite ? »

BRUNO BOURGEOIS

* Indice correspondant au test de QI adulte Wais-IV. Il est divisé en « indice visuospatial » et « indice de raisonnement fluide » dans le Wisc-V destiné aux enfants.

Vaivre-Douret. Ainsi, contrairement aux idées reçues, l'autisme sans déficience intellectuelle, autrefois dit Asperger, n'est pas forcément lié à un HPI, bien qu'il puisse lui être associé. L'autisme a comme principaux signes des difficultés sociales et de communication, et des comportements et intérêts répétitifs. Le TDAH est caractérisé par une dérégulation de l'attention, et donc des difficultés de concentration, de l'impulsivité et de l'agitation physique ou mentale que le HPI peut masquer par ses capacités verbales et sa mémoire accrues. Mais cette compensation se fait souvent au prix de beaucoup d'énergie, d'une perte d'estime de soi ou encore d'anxiété. « *Chez l'enfant, cela peut se traduire par des 10-12 ans non dépistés en péril scolaire, dont près de la moitié font une dépression* », précise Laurence Vaivre-Douret.

Sébastien fait partie des HPI souffrant de troubles. Testé par Laurence Vaivre-Douret vers l'âge de 10 ans alors qu'il est en grande détresse psychologique, il se révèle être un HPI « multidys », souffrant d'une dyspraxie visuospatiale (qui affecte sa capacité à se repérer et à s'organiser), et de dyslexie, dysgraphie et dysorthographie (respectivement des difficultés à lire, à écrire manuellement et à maîtriser l'orthographe). Grand lecteur et bon à l'école, Sébastien a dû passer des tests poussés pour révéler sa dyslexie masquée par le HPI. L'écriture en revanche lui pose problème. « *Ça me faisait mal à la main, j'arrivais mal à tracer mes lettres* », se souvient-il. C'est le bilan psychomoteur qui révèle un trouble moteur avéré du côté gauche, celui de la main avec laquelle il écrit. « *C'est malheureux de voir ces enfants mal perçus à cause d'un déficit important.* » Une analyse que confirme l'expérience de Sébastien. « *On me disait que j'étais fainéant, que je le faisais exprès, j'étais harcelé.* » Sur les recommandations de Laurence Vaivre-Douret, Sébastien saute une classe et adopte des mesures adaptées. « *Maintenant, j'ai un ordinateur et des photocopies des cours. Je n'ai quasiment plus à écrire, c'est plus rapide et plus facile,* se réjouit-il. *Je suis moins fatigué, je dors mieux parce que je suis moins stressé, et je n'ai plus mal à la main.* »

Ni surhumaines ni malades, les personnes avec un HPI « *ont de hautes capacités mentales d'adaptation qui leur permettent de progresser rapidement, ce qui est un atout* », conclut Laurence Vaivre-Douret. Encore faut-il voir au-delà de leur QI, qui peut masquer des troubles ou anomalies nécessitant soins et attention. ■

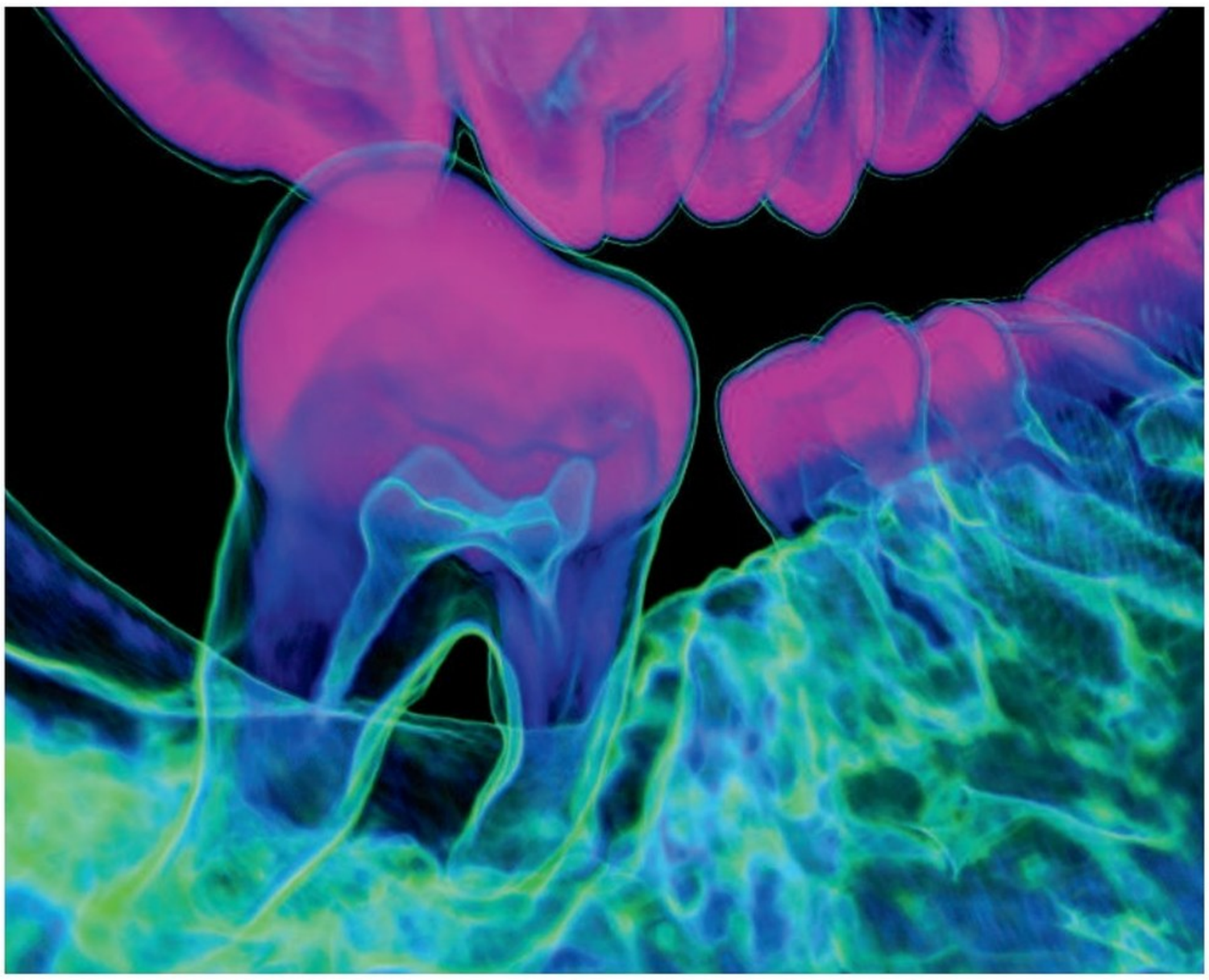
PROFIL

Le très haut potentiel intellectuel (THPI)

0,13 % de la population serait THPI, avec un QI dépassant 145. *« Ils sont très rares, mais ils existent »*, confirme Margaux Courrèges, neuropsychologue au GHU Paris psychiatrie & neurosciences. En raison de cette rareté, il est compliqué de démontrer si ce très haut QI s'accompagne de facteurs de vulnérabilité supplémentaires par rapport au HPI. *« Il se peut que certaines caractéristiques baissent sur l'adaptation sociale et le bien-être pour les très hauts QI »*, avance cependant Nicolas Gauvrit, enseignant-chercheur en sciences cognitives à l'université de Lille.

Une thérapie fait repousser les dents

Des chercheurs japonais sont parvenus à agir sur un gène qui bloque la repousse naturelle des dents. Un essai clinique va démarrer chez une trentaine d'adultes volontaires à qui il manque une molaire.



SPL/SUCRÉ SALÉ

Les implants et autres prothèses dentaires vont bientôt devenir obsolètes ! C'est en tout cas ce qu'affirment des chercheurs de l'hôpital Kitano à Osaka (Japon). Ils pensent en effet avoir trouvé le moyen de faire repousser des dents chez l'humain. Et pour le prouver, ils lancent cet automne un premier essai clinique. Leur stratégie ? Désactiver un gène qui normalement bloque cette repousse naturelle. Pour y parvenir, ils ont développé une molécule dans le cadre de leur start-up, Toregem Biopharma. Voilà en fait plus de vingt ans que l'équipe de Katsu Takahashi travaille sur le sujet complexe de la régénération dentaire. « *Faire pousser de nouvelles dents, c'est un peu le rêve ultime des chirurgiens-dentistes* », résume Sophie Jung, professeure en biologie orale à la faculté de chirurgie dentaire de l'université de Strasbourg et praticienne hospitalière au CRMR O-Rares, le Centre national de référence des maladies rares orales et dentaires (1). Il s'agit aussi d'un vrai graal pour les chercheurs, confrontés à l'immense complexité des plus de 900 maladies génétiques qui s'expriment au niveau de la bouche. C'est le cas de l'agénésie dentaire (absence d'une dent, qui touche 1 % de la population mondiale), de l'hypodontie (absence d'une à cinq dents) ou de l'oligodontie ▶

SPL/SUCRÉ SALÉ

La dentition d'un adulte est composée de 8 incisives, 4 canines, 8 prémolaires et 12 molaires comprenant les dents de sagesse.

(absence de plus de six dents). Autant de maladies qui peuvent s'avérer handicapantes tant pour s'alimenter, parler distinctement que pour conserver une bonne estime de soi. Souvent découverte lors d'un retard d'éruption dentaire, l'agénésie réclame une prise en charge adaptée au long cours, et ce parfois dès l'enfance, avec la nécessité de réaliser des prothèses qui devront être adaptées tout au long de la vie (*lire l'encadré ci-contre)*.

Se passer de ces soins constituerait donc une avancée majeure appréciée de tous, et tel est le premier objectif visé par les chercheurs japonais. C'est en 2021 que leur espoir d'une alternative biologique aux implants a pris forme, avec un article paru dans la revue *Nature* et l'identification du gène USAG-1 (Uterine sensitization-associated gene–1), dont la fonction est de contrôler le nombre de dents en inhibant le développement des germes dentaires.

En poursuivant leurs travaux, ils ont développé un anticorps capable de bloquer ce gène. Au cours des premiers essais menés chez la souris puis le furet, ils ont constaté l'apparition de nouvelles dents dans la bouche des rongeurs. Un résultat autorisant le lancement de l'essai clinique qui va débuter chez une trentaine d'adultes volontaires âgés de 30 à 64 ans à qui il manque une molaire — un choix fait pour ne pas déséquilibrer la dentition préexistante avec l'arrivée potentielle de la « néodent » espérée à la suite de l'injection intraveineuse de l'anticorps. Les personnes seront ensuite suivies durant un an pour observer l'évolution de la repousse. Mais dans un premier temps, c'est surtout l'absence de toxicité qui va être testée, car le moment de l'administration semble bien tardif… Si les résultats sont concluants, Toregem Biopharma envisage de poursuivre les tests sur des enfants atteints d'agénésie dentaire, et espère commercialiser son médicament d'ici à 2030. Les enjeux de ces recherches sont importants car, à terme, l'adieu aux implants ne concernerait pas seulement les agénésiques, mais aussi tous ceux à qui il manque une ou plusieurs dents en raison de traumatismes, de caries, de maladies…

Chez « Homo sapiens », les dents ne poussent que deux fois

Pour mémoire, les humains possèdent normalement 32 dents. Apparaissent d'abord 20 dents temporaires — les dents de lait —, toutes en place avant l'âge de 3 ans, qui ensuite tombent pour permettre aux dents définitives, dites aussi permanentes, de sortir entre l'âge de 5 et 12 ans environ. Mais contrairement aux alligators, poissons ou reptiles chez qui les mécanismes de repousse peuvent se renouveler plusieurs fois dans l'existence, les dents ne poussent que deux fois au cours d'une vie d'*Homo sapiens*.

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

« La dent n'est pas un os comme les autres. Quand elle manque, ce n'est pas par hasard »

Agnès Bloch-Zupan, professeure de biologie orale à la faculté de chirurgie dentaire de l'université de Strasbourg

Et parfois, les dents sont manquantes comme dans l'agénésie. « *La dent n'est pas un os comme les autres. Quand elle manque, ce n'est pas par hasard* », explique Agnès Bloch-Zupan, professeure de biologie orale à la faculté de chirurgie dentaire de l'université de Strasbourg et praticienne hospitalière, responsable du CRMR O-Rares. Car l'odontogenèse ou développement dentaire — c'est-à-dire l'ensemble du processus physique par lequel les dents se développent et apparaissent dans la bouche, dès la vie utérine et jusqu'à 25 ans environ chez l'humain —, est sous l'influence de différentes voies biologiques de signalisation (SHH, BMP, WNT, NF-kB…). Elles-mêmes sont contrôlées par l'expression de différents gènes selon des mécanismes qui n'ont pas encore été tous décryptés. « *Or, toutes ces voies interagissent de manière fine et complexe. Quand des perturbations surviennent, il en résulte alors des anomalies, la dent étant un marqueur d'anomalies génétiques du développement* », détaille la spécialiste.

La protéine manquante injectée dans le liquide amniotique

C'est donc à une très grande complexité que sont confrontés les chercheurs pour parvenir à stimuler la repousse dentaire. Ici, les scientifiques japonais se sont uniquement intéressés à la voie dite BMP, mais il en existe de nombreuses autres. Comme celle dite NF-kB (nuclear factor-kappa B), qui est au cœur d'une maladie génétique rare, la dysplasie ectodermique hypohidrotique liée à l'X (XLHED). Elle touche sept naissances sur 10 000, soit 2000 cas en France, selon l'Association française des dysplasies ectodermiques (2), et il n'existe aucun traitement à ce jour.

Transmise par des modifications d'un gène (EDA1) situé sur le chromosome X et touchant donc surtout les garçons, elle se traduit par des altérations du développement des dents, mais aussi de la bouche, des cheveux et des glandes sudoripares. Autant d'anomalies dues à l'absence de la protéine EDA, qui joue un rôle important dans le développement de ces structures chez le fœtus. Depuis 2022, l'XLHED bénéficie d'un essai clinique mondial (Edelife) en cours dans six pays, dont la France. Coordonné par le professeur Holm Schneider, de l'hôpital universitaire d'Erlangen (Allemagne), il consiste à injecter la protéine manquante EDA directement dans le liquide amniotique, à trois reprises entre la 26e et la 32e semaine de grossesse. En effet, à ce stade, les bébés avalent régulièrement du liquide amniotique et peuvent ainsi être traités. « *Neuf femmes ont déjà reçu le protocole et une vingtaine d'autres seront incluses d'ici à la fin de l'essai en 2029,* commente Holm Schneider. *Les radiologies dentaires pratiquées chez les premiers enfants traités* in utero *montrent déjà plus de bourgeons dentaires que chez leur fratrie, née antérieurement et atteinte d'XLHED* ». Un espoir pour les familles et les chercheurs, même si, prévient Agnès Bloch-Zupan, « *le développement dentaire est encore loin d'avoir révélé tous ses mystères* ». ■

Sylvie Riou-Milliot

(1) www.o-rares.com
(2) https://afde.net

ÉDUCATION THÉRAPEUTIQUE

L'agénésie dentaire expliquée aux parents et aux enfants

Aider les parents et leurs enfants atteints d'agénésies dentaires multiples et d'autres pathologies dentaires rares à comprendre leur maladie et la chronologie de leurs traitements pour mieux gérer le quotidien. Tel est l'objectif d'un programme d'Éducation thérapeutique du patient (ETP) coordonné par Sophie Jung au Centre de référence des maladies rares à Strasbourg. Il consiste à organiser des ateliers animés par des dentistes, des médecins généticiens, une orthodontiste, une psychologue et une diététicienne, pour une approche personnalisée auprès d'environ cinq enfants accompagnés de leurs parents. « *Les programmes de soins (prothèses, implants) sont souvent complexes, très onéreux et mal remboursés* », signale Sophie Jung. L'équipe est aussi en train de développer une application, Drôles de dents, qui proposera des jeux et des animations aux enfants de 6 à 12 ans. Elle sera bientôt disponible gratuitement sur Android et iOS.

MARIE GENEL / PINK / SAIF IMAGES

Le programme DentO-RarEduc permet aux jeunes patients de mieux comprendre et gérer leur pathologie.

Le thé, une infusion stimulante

Cette boisson chaude ou glacée est plébiscitée pour ses bienfaits sur la santé, notamment grâce à un effet protecteur du risque cardio-vasculaire.

Matcha, Pu-Erh, oolong… Les thés offrent une grande palette aromatique, influencée par leurs lieux de culture (Chine, Inde, Japon, Kenya, etc.) et leurs méthodes de fabrication. Apparue en Chine il y a cinq mille ans, puis répandue dans le reste de l'Asie avant d'être introduite en Europe (notamment en Angleterre avec le thé noir) à partir du XVII^e^ siècle, cette boisson chaude ou glacée est plébiscitée pour ses bienfaits sur la santé. Sa consommation mondiale a augmenté de 3,5 % au cours de la dernière décennie (1) et les industriels surfent de plus en plus sur la vague « healthy » avec tout une gamme de thés infusés en bouteille (Umachai, May Tea, etc.). Sans compter la nouvelle boisson tendance originaire de Taïwan, le *bubble tea*, mêlant thé froid ou chaud, lait, sirop fruité et perles de tapioca.

Des saveurs diverses

Tous les thés sont élaborés à partir du même arbre, le théier *Camellia sinensis*. Seul le traitement des feuilles (flétrissage, roulage, torréfaction, etc.) après la récolte diffère, ce qui permet de classer les thés en six catégories : blanc (Bai Mu Dan, Yin Zhen), vert (Long Jing, Bi Luo Chun), jaune (Meng Ding Huang Ya), oolong (Shui Xian, Dong Ding), noir (Keemun, Lapsang Souchong) et sombre (Pu-Erh). C'est l'**oxydation** (et la **fermentation**, seulement pour les thés Pu-Ehr et jaune) qui détermine la « couleur » et lui confère ses diverses saveurs. Ainsi les feuilles de thé vert sont brièvement chauffées pour éviter leur oxy-

6,5
millions de tonnes
de thé ont été récoltées dans le monde en 2021, principalement en Chine (3,12 millions de tonnes).
(SOURCE : STATISTA.)

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

OXYDATION Réaction chimique conduisant au brunissement des feuilles de thé au contact de l'air. Elle débute dès la coupe de la feuille et s'accélère lorsqu'elle est roulée ou écrasée.

FERMENTATION Étape consistant à placer les feuilles humidifiées de thé sous une bâche afin de favoriser la prolifération de micro-organismes dans ce milieu sans oxygène.

CAFÉINE (OU THÉINE) Alcaloïde de la famille des méthylxanthines agissant comme stimulant psychotrope, présent dans le café, le thé et les boissons énergisantes.

dation, tandis que cette étape est plus poussée pour les thés oolong (10 à 75 % d'oxydation) et noir (oxydation complète) (2). Mieux vaut toujours acheter le thé en vrac plutôt qu'en sachet pour une meilleure qualité, et bio pour éviter toute trace de pesticides.

Il renferme de puissants antioxydants...

Les thés vert, blanc et jaune contiennent des polyphénols en abondance, en particulier des flavonoïdes et plus spécifiquement des catéchines (épigallocatéchine-3-gallate [EGCG], épicatéchine gallate, etc.) (2). Par exemple, le thé vert contient 20 à 30 % de polyphénols totaux, et une tasse, jusqu'à 200 mg d'EGCG (3), lequel aurait entre autres des effets antibactériens et antiviraux (4). Lors de l'oxydation, les catéchines du thé sont transformées en théaflavines et théarubigines, des polyphénols principalement présents dans les thés oolong, noir et sombre. Toutefois, en cas d'anémie ou de risque de déficit en fer (règles abondantes, grossesse, etc.), il est recommandé de boire le thé entre les repas car il inhibe d'environ 60 à 70 % l'assimilation du fer non héminique (trouvé dans les végétaux) (5).

Il stimule sans exciter

Une tasse de thé contient 35 à 61 mg de **caféine (ou théine)** (contre environ 90 mg pour une tasse de 20 cl de café filtre ou 6 cl d'expresso) et 4,5 à 22,5 mg de théanine, un acide aminé spécifique au thé (et au champignon bolet bai). Ces deux composés sont hautement biodisponibles, atteignant leur concentration maximale dans le plasma environ 30 minutes (pour la caféine) et 45 minutes (la théanine) après la consommation de thé. Outre un effet stimulant, la caféine améliore les performances des tâches d'attention (6) tandis que la théanine aurait, entre autres, des effets positifs sur les performances cognitives et la relaxation (2).

Il est bon pour le cœur...

Consommer deux à six tasses de thé par jour réduirait jusqu'à 42 % le risque de calcification de l'aorte abdominale, un facteur de risque majeur d'événement cardio-vasculaire (infarctus du myocarde, accident vasculaire cérébral). D'après les auteurs, cet effet protecteur serait en grande partie dû aux flavonoïdes du thé (7). Même après un AVC, boire au moins sept tasses (de 100 ml) de thé vert par jour diminuerait de 62 % le risque de décès précoce toutes causes confondues (8).

... et aiderait à réguler le poids

Les polyphénols des thés noir et vert modifieraient la composition du microbiote intestinal, en réduisant la part de bactéries associées à l'obésité (*Firmicutes*) et en augmentant celle liée à une masse corporelle maigre (*Bacteroidetes*). Ces antioxydants aideraient ainsi à compenser un régime alimentaire trop riche en graisses et en sucre, selon une étude menée sur des souris. Par ailleurs, la consommation régulière de thé vert (500 mg/jour) pendant trois mois permettrait une perte de poids relative de 1,78 kg et une réduction de l'indice de masse corporelle (IMC) de 0,65 kg/m² chez des individus obèses (9). ■ **Sylvie Boistard**

(1) International tea market, FAO, 2022.

(2) Health functions and related molecular mechanisms of tea components, Tang G.Y. et al, *Int J Mol Sci*, 2019.

(3) Tea polyphenols in promotion of human health, Khan N. et al, *Nutrients*, 2018.

(4) Green tea, Zhao T. et al, *Molecules*, 2022.

(5) Les effets du thé sur l'absorption du fer alimentaire, Hercberg S. et al, *Cahiers de nutrition et de diététique*, 2008.

(6) Acute effects of tea consumption on attention and mood, Einöther S.J. et al, *Am J Clin Nutr*, 2013.

(7) Higher Habitual Dietary Flavonoid Intake Associates With Less Extensive Abdominal Aortic Calcification in a Cohort of Older Women, Parmenter B. H et al, *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol*, 2022.

(8) Green Tea and Coffee Consumption and All-Cause Mortality Among Persons With and Without Stroke or Myocardial Infarction, Teramoto M. et al, *Stroke*, 2021.

(9) The effect of green tea supplementation on obesity, Lin Y. et al, *Phytotherapy Research*, 2020.

BERNARD SROUR, épidémiologiste, coordinateur du réseau Nacre *

Le thé vert ne réduit pas le risque de cancer

« Des études sur des animaux de laboratoire et des cultures cellulaires suggèrent que le thé vert, en particulier les catéchines (EGCG) pourraient avoir un effet antitumoral, antioxydant et anti-inflammatoire. Mais chez l'humain, aucune étude épidémiologique ou clinique ne montre une réduction du risque de cancer. Par ailleurs, il est recommandé de ne pas boire de thé vert un à deux jours avant et après une séance de chimiothérapie ou de radiothérapie car il peut augmenter leur toxicité et réduire leur efficacité. »

* Réseau nutrition activité physique cancer recherche.

JEAN-PIERRE AGUER, VILLE DE LESCAR, 2009

Les premières traces connues de handicap remontent à un demi-million d'années et témoignent d'une prise en charge très ancienne. Ici, un chasseur à l'arc muni d'une prothèse de jambe sur cette mosaïque du XII^e^ siècle de la cathédrale de Lescar (Pyrénées-Atlantiques).

Comment l'humanité a accepté le handicap

Depuis une quinzaine d'années, une anthropologue française explore la place des personnes souffrant d'un handicap chez nos ancêtres. Loin d'être rejetées, elles furent toujours prises en charge, révèlent les traces archéologiques. À l'occasion des jeux Paralympiques, Valérie Delattre dresse pour « Sciences et Avenir » un bilan de ses découvertes.

Par Marine Benoit

Tout a débuté par une rencontre. Il y a une quinzaine d'années, l'archéoanthropologue Valérie Delattre, spécialiste des pratiques funéraires et cultuelles de la protohistoire au Moyen Âge, croise la route du champion paralympique Ryadh Sallem. Celui-ci l'interroge : *« Comment faisaient les gens comme moi avant ? »* Valérie Delattre comprend que l'archéologie ne s'est jamais vraiment posé cette question et décide de tenter d'y répondre. Aujourd'hui, celle qui dirige, au sein de l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap), un programme intitulé « Archéologie du handicap », a contribué à faire exister scientifiquement cet axe si révélateur des sociétés du passé. *« Auparavant, les squelettes "extraordinaires" avaient toujours été un peu examinés sous l'angle "Guinness des records". Mais nous avons vite compris qu'ils pouvaient nous en dire long sur l'état d'un groupe, son organisation et la façon dont les individus prenaient soin les uns des autres. »* Encore fallait-il commencer par définir la notion de « handicap ». De nos jours, les instances internationales parmi lesquelles l'Organisation mondiale de la santé (OMS) le considèrent avant tout comme un *« empêchement »*, une *« déficience qui provoque l'incapacité »*. Mais pour les archéologues, difficile d'appliquer ce concept à toutes les époques. *« Un cultivateur du néolithique n'était pas empêché de la même manière qu'un athlète grec antique ou qu'un moine cistercien médiéval. Et parce que cette notion d'empêchement évolue au fil des siècles et des millénaires, nous avons dû adopter sans cesse de nouveaux points de vue. »*

Les prothèses à travers les âges

XVe SIÈCLE AVANT J.-C. Cet orteil de bois et de cuir vieux de plus de 3000 ans ayant appartenu à la fille d'un prêtre égyptien est l'une des plus anciennes prothèses connues. Elle était bel et bien fonctionnelle, à en croire les traces d'usure qu'elle porte.

IVe SIÈCLE AVANT J.-C. Sur ce skyphos (vase à boire) trouvé au sud de l'Italie et attribué au Peintre du Primato, on voit un satyre unijambiste équipé d'un appareil. Même les divinités pouvaient souffrir de handicap !

IIIe SIÈCLE AVANT J.-C. Cette prothèse romaine en bronze de Capoue confirme que les Romains ont eux aussi cherché à alléger le quotidien des infirmes, notamment des gladiateurs ou guerriers amputés.

UNIV. OF BASEL, LHTT. IMAGE: MATJAŽ KAČIČNIK ; GRAND PALAIS RMN (MUSÉE DU LOUVRE) / H. LEWANDOWSKI ; THE ROYAL COLLEGE OF SURGEONS OF ENGLAND, WELCOME COL. N°A 646752

Les plus anciennes traces de handicap observées dans l'histoire de l'humanité remontent à environ un demi-million d'années. Dans le gouffre de la Sima de los Huesos, au sud de l'Espagne, gisaient une trentaine d'individus prénéandertaliens, parmi lesquels un homme d'environ 45 ans qui souffrait du syndrome de Baastrup (une anomalie au niveau des extrémités des vertèbres lombaires engendrant une douloureuse friction) et une petite fille qui présentait un crâne déformé typique d'une plagiocéphalie, source probable d'un retard cognitif. *« Leur présence au sein du groupe prouve qu'ils n'ont pas été laissés sur le bas-côté. Ils ont été pris en charge de sorte qu'ils puissent suivre le rythme »*, explique la chercheuse. Même constat à la Cova Negra, non loin du gouffre de la Sima, où a été découvert cette année un tout premier cas avéré de syndrome de Down, ou trisomie 21, chez un enfant d'au moins 6 ans. Pour survivre, le bambin, dont les ossements laissent entendre qu'il souffrait d'une surdité complète et de crises de vertige, a forcément bénéficié d'une attention accrue de sa mère et du groupe entier. Très tôt, *sapiens* a aussi fait le choix de ne pas abandonner les plus vulnérables, même gravements blessés. Il y a 31 000 ans en Indonésie a notamment eu lieu l'une des toutes premières tentatives d'amputation sur une jeune garçon. Âgé de 20 ans, il aurait vécu entre six et neuf ans après cette opération.

Un statut supérieur semble leur être attribué à la préhistoire

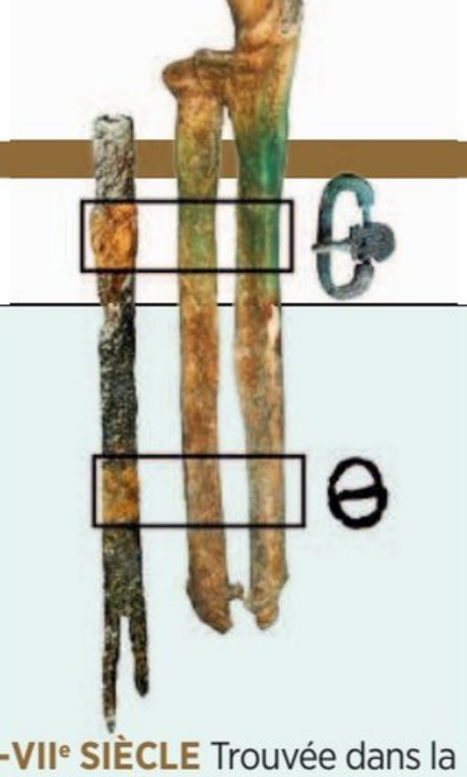
Le site moustérien de Qafzeh, en Israël, daté d'environ 100 000 ans avant notre ère, nous en dit encore plus long sur le traitement réservé aux plus fragiles. Il laisse entendre non seulement que l'on prenait soin d'eux de leur vivant, mais aussi qu'on leur accordait une attention toute particulière dans l'autre monde. Preuve en est avec cette tombe « double » dans laquelle reposait, aux côtés d'un enfant de 6 ans dont le crâne attestait d'une hydrocéphalie, un adulte sans pathologie osseuse apparente. Fouillée dans les années 1960, la sépulture a été réanalysée plus récemment par l'archéoanthropologue Anne-Marie Tillier, qui y a vu la marque d'un rituel d'accompagnement. *« Un peu comme si ce petit être qui n'était pas autonome dans la vie ne pouvait pas non plus l'être dans la mort »*, avance prudemment Valérie Delattre.

D'autres sépultures préhistoriques vont jusqu'à suggérer que des individus présentant de graves pathologies physiques ou psychiques bénéficiaient d'un statut particulier et supérieur. C'est sans doute le cas de cet homme d'âge avancé à Brno, en République tchèque, qui souffrait d'une inflammation osseuse devant affecter le moindre de ses mouvements. Sa tombe renfermait un riche matériel quand son squelette, lui, était recouvert d'ocre. Il y a aussi ces femmes, l'une inhumée il y a environ 12 000 ans dans la grotte d'Hilazon Tachtit, en Israël, l'autre vers 6600 ans avant notre ère à Bad Dürrenberg, en Allemagne, toutes deux lourdement handicapées. La seconde présentait des déformations crâniennes telles qu'elle devait être dans un état de souffrance constant, ponctué de pertes de connaissance (*lire* Sciences et Avenir, *n° 920, octobre 2023*). Comme l'homme de Brno, des « objets » très particuliers les accompagnaient : un bassin de léopard, une aile d'aigle et même un pied humain pour la première ; un cerf entier,

DAMIEN GRENON/PHOTO12

« La différence est parfaitement représentée dans l'iconographie égyptienne. Elle est loin d'être invisibilisée »

Valérie Delattre, archéoanthropologue à l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap)

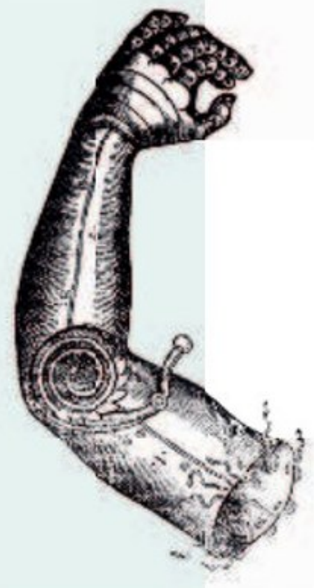


Ve-VIIe SIÈCLE Trouvée dans la nécropole mérovingienne de Cutry (Meurthe-et-Moselle), cette prothèse de main en forme de fourche (à gauche) était adaptée aux deux os de l'avant-bras (à droite) d'un individu amputé. Elle était sans doute attachée par deux lanières de cuir (à l'emplacement des rectangles) et des boucles.

XIVe SIÈCLE Cette enluminure, tirée du *Roman d'Alexandre* par Jehan de Grise (vers 1340), nous apprend que dès le Moyen Âge, les aveugles pouvaient être escortés d'un chien qui les aidaient à demander l'aumône.

1530 Cette main de métal articulée fut conçue pour le chevalier Hans von Mittelhausen, bailli à Balbronn (Bas-Rhin) qui perdit son bras gauche au combat. Il fut enterré avec elle.

1545 Ambroise Paré mit au point les premières prothèses destinées non plus seulement à remplacer le membre disparu mais aussi à redonner au patient une mobilité (Ici, schéma tiré de son livre *La manière de traiter les plaies)*.



une carapace de tortue et un bébé qui n'était pas le sien pour la seconde. *« Il est probable que leurs pathologies aient été interprétées par leurs pairs comme une marque de connexion avec le monde des esprits, comme des pouvoirs surnaturels »*, assure Valérie Delattre.

Le néolithique européen a livré un grand nombre de témoignages de tentatives de soins, parmi lesquels des milliers de crânes trépanés avec différentes méthodes : en faisant un trou avec un couteau de silex, en curetant l'os avec un racloir ou encore en effectuant de petites incisions jusqu'à ce que l'os nécrose. Ensuite, les âges du bronze et du fer sont plus flous sur le traitement réservé aux plus vulnérables, pour la simple raison que les défunts furent majoritairement incinérés durant ces périodes. Au cours de l'Antiquité, en revanche, les exemples deviennent à nouveau légion. Les parois des tombeaux de l'Égypte antique regorgent de figures de nains, de bossus ou de personnes avec des becs-de-lièvre. *« La différence est parfaitement représentée dans l'iconographie égyptienne,* affirme Valérie Delattre. *Elle est loin d'être invisibilisée.* » Il suffit d'observer la momie de Toutankhamon pour savoir que le pharaon était polyhandicapé : il était atteint de paludisme, boitait et présentait un retard mental. Pourtant, ces maux n'entraînèrent pas sa mise à l'écart du pouvoir.

C'est aussi durant l'Antiquité que les clichés que l'on trouve encore aujourd'hui prirent racine. Aristote, Platon et Plutarque, principalement, ont contribué en grande partie à véhiculer l'idée selon laquelle les Grecs anciens éliminaient dès la naissance les enfants « non conformes ». Plutarque nous raconte qu'à Sparte, les nouveau-nés malformés étaient jetés dans un précipice du mont Taygète. *« Or, nous ne disposons d'aucune trace archéologique de ces dires »*, nuance la spécialiste. Les Romains, en revanche, ont, avec plus de certitude, traité la différence de façon cruelle. Une disposition de la loi des Douze tables — le premier corpus de lois romaines écrites rédigé entre 451 et 449 avant notre ère — préconisait notamment qu'un enfant handicapé ou malformé soit mis à mort pour s'éviter une charge.

Au Moyen Âge, un regard plus manichéen sur le handicap

S'ajoutait à cela la *patria potestas*, forme de toute-puissance du *pater familias* (père de famille) qui lui donnait, entre autres, le droit de vie ou de mort sur ses enfants, même de bonne constitution. *« Mais, là encore, nous n'avons pas de preuve archéologique de cette pratique tandis que nous avons des sépultures d'adultes handicapés »*, poursuit Valérie Delattre. En 318, l'empereur Constantin finit tout de même par condamner l'infanticide, l'abandon ou la vente de sa progéniture. Plutarque, toujours, rapporte que certains Romains aisés s'offraient des « nains de compagnie » pour distraire la maisonnée et animer les banquets aux côtés d'autres personnes souffrant de handicap (muets, eunuques ou encore bossus). Tous pouvaient être achetés en toute légalité au « marché aux monstres » de Rome où des vies humaines étaient monnayées. D'après Suétone, César lui-même *« collectionnait »* les personnes atteintes de nanisme.

« Mais la société romaine étant aussi pétrie de contradictions que la nôtre, les plus faibles n'y étaient pas systématiquement oubliés ou maltraités. Les données archéologiques nous montrent que des enfants grandissaient avec des handicaps lourds, que l'on tentait de "réparer" les gladiateurs gravement blessés, ou encore qu'une volonté d'améliorer la qualité de vie des infirmes existait déjà en médecine, comme le prouvent les nombreux écrits du médecin Claude Galien (vers 130-vers 210) », tempère Valérie Delattre. Ce dernier fit notamment évoluer le traitement des plaies en préférant les humecter avec de l'huile plutôt qu'avec de l'eau chaude, et recourait souvent à l'amputation pour sauver la vie du patient. Après la guérison, il préconisait une série de soins tout à fait actuels : le bandage, le massage, l'exercice physique et même les prothèses, bien qu'encore sommaires.

BUCHET IN DELATTRE ET SALÉ, 2009 ; BODELEIAN LIBRARY, UNIV. OF OXFORD ; M. BERTOLA, MUSÉES DE STRASBOURG ; SCIENCE PHOTO LIBRARY / SUCRÉ SALÉ

CHIRURGIE

Les innovations d'Ambroise Paré

Souvent considéré comme l'un des pères de la chirurgie moderne, Ambroise Paré (1510-1590) contribua grandement à l'amélioration du sort des handicapés. Doté d'un esprit inventif, ce barbier-chirurgien — dénomination donnée depuis le XIIe siècle à ceux dont la mission était d'opérer malades et blessés, les médecins se contentant de prescrire les soins — développa et perfectionna des techniques chirurgicales qui permirent de réduire drastiquement les complications et les douleurs pour les patients, y compris ceux ayant subi des amputations. Ambroise Paré découvrit notamment que la ligature des artères permettait un meilleur contrôle des saignements et était moins éprouvante que la cautérisation. Il put expérimenter ses méthodes sur de nombreux soldats mutilés, lui qui considérait que le champ de bataille était la meilleure école de médecine. Il fut aussi pionnier dans la conception et la fabrication de prothèses, même si l'archéologie nous montre qu'il existe, au moins depuis l'Égypte antique, des tentatives pour remplacer les membres amputés (*voir la frise p. 78-79*). Il mit notamment au point, en faisant appel au métal et au cuir, des dispositifs plus fonctionnels et confortables que ceux produits jusqu'alors, mais aussi des modèles accessibles aux couches les plus modestes de la société.

Après l'amputation, le célèbre chirurgien (en rouge) ligature la jambe d'un blessé de guerre en 1552 (peinture du XIXe siècle).

IMAGEBROKER.COM/COLL. CHRISTOPHEL

Le Moyen Âge, imbibé de religion chrétienne, va porter un regard plus manichéen sur le handicap. « *Il va à la fois être vu comme une épreuve permettant de prouver sa foi à Dieu mais aussi, à l'inverse, comme une punition pour avoir pêché* », détaille Ninon Dubourg, historienne spécialiste du handicap physique et mental dans l'Europe médiévale. Pourtant, ces deux pôles sont loin de représenter la réalité de la société de l'époque. Souvent associé à la figure du mendiant dans l'iconographie de la période, le handicap va surtout être lié à la notion de charité, qui compte parmi les trois vertus théologales du christianisme (ces vertus qui, en théologie, ont pour objet sa relation à Dieu). « *En somme, plus on aidait les plus vulnérables, plus on achetait sa rédemption* », résume Ninon Dubourg. Ainsi vont apparaître les premiers hôpitaux et autres hôtels-Dieu administrés par des ordres religieux destinés au soin des plus faibles, à l'instar de la matricula, liste nominative des pauvres à la charge de l'église locale mise en place au Ve siècle, ou encore des Quinze-Vingts à Paris, hospice fondé vers 1260 par Saint Louis et dont le but était de loger les aveugles de la ville.

C'est aussi à la toute fin du Moyen Âge, vers la fin du XVe siècle, et surtout au XVIe siècle, que l'on voit apparaître les premières prothèses élaborées. Car la guerre, désormais omniprésente en Europe, a changé de visage : la généralisation de l'usage de la poudre à canon au XIVe siècle a multiplié le nombre d'estropiés. « *Reste que ces infirmités de guerre ne vont pas être toujours vues comme des handicaps mais peuvent être au contraire considérées comme des marques de courage* », rapporte Ninon Dubourg. « *Nous savons même que des personnes aveugles ou mutilées continuaient à se rendre sur le champ de bataille comme s'il ne s'agissait en rien d'un problème.* »

On peut s'étonner que la période moderne soit celle qui voit naître une forme de violence systémique à l'égard des handicapés. Le siècle des Lumières deviendra notamment celui du grand enfermement des « fous » dans les asiles et dans les cases d'une psychiatrie balbutiante. Le XIXe siècle, lui, verra les cas de mutilations exploser dans les premières usines. Mais le pire reste à venir : « *C'est au XXe siècle, sous le régime nazi, que des personnes seront massivement et pour la première fois éliminées au seul prétexte de leur handicap mental,* déplore Valérie Delattre. *Il est temps d'en finir avec cette idée que plus l'humain évolue dans le temps, mieux il traite ses handicapés.* » ■

POUR EN SAVOIR PLUS

À lire sur notre site Web : À l'origine des jeux Paralympiques : **sciav.fr/931paralympie**

Le secret hydraulique des Égyptiens

Pour ériger la pyramide de Djoser, les bâtisseurs auraient construit un barrage, une installation de traitement de l'eau et un monte-charge hydraulique.

Un système hydraulique plutôt que des plans inclinés pour monter les pierres des pyramides ? C'est l'étonnante hypothèse que des chercheurs français de l'Institut de recherches Paleotechnic ont posée dans un article paru début août dans la revue *Plos One*. Durant quatre ans, ils ont étudié de près la plus ancienne des grandes pyramides d'Égypte : la pyramide à degrés de Djoser, érigée il y a environ 4700 ans sur le plateau de Saqqarah, au sud du Caire, en l'honneur du premier roi de la IIIe dynastie égyptienne, dont elle porte le nom. Leur conclusion est que les Égyptiens auraient utilisé un système comprenant un barrage, une installation de traitement de l'eau et un monte-charge hydraulique.

Ils ont tout d'abord visualisé un barrage de 15 mètres d'épaisseur grâce aux reconstitutions tridimensionnelles du plateau de Saqqarah, établies à l'aide d'anciens plans de fouilles et d'images satellitaires. « *La pluviométrie de l'Ancien Empire est peu connue. Nous savons qu'elle était importante car il y a des preuves de forts écoulements sur le plateau de Saqqarah,* expose Xavier Landreau, président de Paleotechnic, chercheur au Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et auteur principal de l'étude. *Au vu des dimensions du barrage, il y avait certainement un besoin d'absorption de crues.* » L'équipe a par ailleurs identifié comme étant une installation de traitement de l'eau une autre structure associée à ce barrage et étudiée depuis 1937 : au sud de la douve entourant la pyramide, une fosse de 400 mètres de long et 27 mètres de profondeur est taillée dans la roche. Cette tranchée contient trois types de compartiments successifs qui semblent présenter les particularités d'un bassin de sédimentation, d'un bassin de rétention et enfin d'un système de purification de l'eau. L'eau purifiée était ensuite guidée vers un puits central où un flotteur permettait de monter les pierres taillées. En visitant le monument, il est aujourd'hui possible de voir le fond du puits central de la pyramide. « *Lorsque l'on regarde en haut, on voit que le puits est scellé mais qu'il se prolonge très probablement vers le centre de la pyramide* », évoque Xavier Landreau.

Le système a peut-être servi à placer le sarcophage du roi

Mais ce n'est pas tout. « *Ce système aurait peut-être également permis de placer le roi dans sa dernière demeure au cœur de la pyramide* », avance Xavier Landreau. Une conjecture cohérente avec les problèmes d'inondations de l'époque, face auxquels des Égyptiens innovants avaient d'ores et déjà eu l'idée de placer les sarcophages en hauteur plutôt qu'en profondeur. Mais aucune preuve ne l'atteste à ce jour, car le cœur de la pyramide de Djoser n'a encore jamais été sondé. ■ **Marine Laplace**

PALEOTECHNICOF PARIS-CC-BY 4.0

Selon la démonstration des chercheurs, l'eau captée par un barrage (1) était dirigée dans une fosse de 400 mètres de long (2) puis guidée vers un puits central sous la pyramide (3) où un flotteur permettait de monter les pierres taillées.

En Provence, l'autre royaume des dinosaures

Luc Ebbo est un paléontologue amateur qui fouille les terrains de Haute-Provence depuis quarante ans. Sa dernière découverte : un fossile très bien conservé d'un théropode juvénile, sans doute mort de faim il y a 120 millions d'années. Un spécimen unique en Europe.

L'adolescence est une période difficile. Sans doute encore plus pour un jeune dinosaure carnivore « *qui a déjà besoin de beaucoup de nourriture mais qui n'a pas encore acquis toutes les techniques de chasse d'un adulte* », confirme Luc Ebbo, paléontologue amateur, mais reconnu, qui fouille les terrains autour de son village de Salignac, dans les Alpes-de-Haute-Provence, depuis près de quarante ans. C'est ainsi qu'il a déniché, à quelque 30 kilomètres de là, sur la commune de Barret-sur-Méouge (Hautes-Alpes), le fossile d'un théropode juvénile, sans doute mort de faim il y a 120 millions d'années, avec son squelette encore articulé (complet à 70 %) et son crâne avec 95 % de ses petits os presque intacts. Un état de préservation qui en fait un spécimen unique en Europe pour ce groupe. D'autant plus qu'il s'agit d'un quasi-adulte, encore plus fragile. Après cinq années de préparation et d'analyses, le fossile a rejoint son écrin dans la Paléogalerie au sein de laquelle Luc expose quelques-uns de ses trésors.

BRUNO BORGEOIS

Pour les dénicher, il faut des yeux « *habitués à voir ce que les autres n'ont pas vu* », explique-t-il. Depuis le XVIIIe siècle, les amateurs de fossiles débarquent, en effet, pour découvrir les merveilles du bassin vocontien, dans un paysage presque lunaire constitué de marnes argileuses. La plupart en reviennent avec des fossiles d'ammonites et autres organismes marins. Mais pour dénicher des restes de dinosaures, il faut un regard aguerri capable de distinguer à la surface des roches les structures jaunâtres caractéristiques des os de vertébrés, souvent pas plus grosses qu'une rognure d'ongle.

D'ailleurs, la constitution même de cette zone rend ces découvertes très improbables : depuis Marseille jusqu'à Grenoble, limité à l'est par les massifs des Alpes et à l'ouest par la vallée du Rhône, ce territoire correspond à un ancien bras de mer du paléo-océan qui régnait là, au crétacé inférieur, il y a 145 à 100,5 millions d'années. Une zone constituée à 100 % de dépôts d'origine marine, donc. Sauf que, de temps en temps, presque exceptionnellement même, des carcasses d'animaux terrestres y aboutissaient. Sans doute charriées par des rivières provenant des régions conti-

Le jeune théropode, trouvé à Barret-sur-Méouge (Hautes-Alpes) par le paléontologue amateur Luc Ebbo, gisait enroulé sur lui-même dans son écrin de pierre. C'est cette position compacte du corps qui a permis la préservation du squelette, complet à 70 %.

nentales ou même directement happées par la marée si elles gisaient sur les rives d'îlots ou d'archipels.

Des vertèbres profondes comme chez les oiseaux

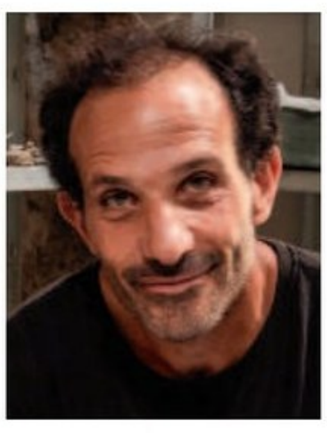
Le petit juvénile retrouvé par Luc Ebbo est encore figé dans la position dans laquelle il est mort : enroulé sur lui-même à cause de la rétraction de ses muscles et tendons. Les oiseaux finissent aujourd'hui leur vie dans cette posture. C'est cette disposition compacte, avec la colonne vertébrale sertissant le reste du corps, qui a permis de préserver la presque intégralité des os. Et de raconter son histoire : celle d'un animal quasi adulte, comme en attestent ses structures vertébrales pas encore soudées, dont la carcasse a rapidement rejoint l'eau puisqu'elle n'a pas été charognée. En revanche, la dépouille a dû flotter un temps avant de couler. C'est pourquoi certaines des parties qui étaient immergées — le bout de la queue et les jambes — manquent : elles ont probablement été grignotées par de petits poissons.

Une fois excavé et nettoyé, le fossile a rapidement été reconnu comme un théropode, un dinosaure bipède carnivore qui, à l'âge adulte, se serait développé pour atteindre la taille d'une autruche, environ 1 mètre de hauteur et 1,60 mètre de longueur. Mais pour l'identifier avec plus de précision, Luc Ebbo a fait appel à Christian Foth, paléontologue allemand, qui examine depuis plusieurs mois les croquis et les scanners des os : *« C'est très difficile d'étudier un juvénile car de nombreuses caractéristiques sont affectées par son degré de maturité. Il faut d'abord préciser son âge »*, insiste-t-il. Au départ, il a été supposé que le théropode soit un lointain ancêtre du *T. rex*, qui a vécu bien loin de là et bien plus tard ; en Amérique du Nord, il y a 68 à 66 millions d'années. Il semble toutefois que ce lien de parenté soit un peu plus éloigné : il pourrait être un ancien représentant d'un autre groupe de gros dinosaures, celui des allosaures. Il ▸

Le crâne du thérapode (à droite) a été préservé à 95 %, fait rarissime. Ci-dessus, un détail des os très fins du crâne, retrouvés brisés, qu'il a fallu réassembler puis coller.

faudra patienter encore quelques mois pour avoir plus de renseignements sur son identité précise. Mais déjà, les premiers examens indiquent qu'au niveau des vertèbres, il possédait des ouvertures assez profondes, une caractéristique commune chez les dinosaures théropodes et les oiseaux. « *Chez les oiseaux modernes, ces ouvertures sont associées à des sacs aériens qui font partie du poumon. Ainsi, ce spécimen nous indique que les dinosaures théropodes avaient probablement des poumons assez similaires à ceux des oiseaux modernes* », précise Christian Foth.

Marcher, toujours marcher en découpant le terrain comme lors d'une battue. Au fil des ans, Luc Ebbo a enchaîné les kilomètres et collecté des milliers de fossiles. Il en cède certains — ceux qui ont été retrouvés en de multiples exemplaires et qui ont moins d'intérêt pour ses archives — à des collectionneurs. Une activité qui, conjuguée aux revenus de sa galerie, lui a permis d'abandonner sa courte carrière d'instituteur de campagne. C'est en 2012 qu'il tombe sur la plus grosse pièce de son exposition : le fossile d'un ankylosaure, vieux d'une centaine de millions d'années. Ces dinosaures sont bien connus en raison de l'armure qui protège le dessus de leur corps. Ici, 95 % de cette dernière a été retrouvée ainsi que 70 % de son squelette, qui est complet jusqu'aux vertèbres cervicales. En revanche, le crâne a été perdu. Luc Ebbo a dû endurer le soleil du midi en plein mois d'août pour dégager les morceaux du squelette au milieu desquels un pin et ses racines avaient eu la mauvaise idée de s'incruster. Afin de ne pas les abîmer davantage, le paléontologue a prélevé un bloc de roche de 2 mètres sur 2 mètres, divisé en plus petites portions de 50 cm sur 50 cm qu'il a transportées en sac à dos, sur plu-



« La nature livre des objets qui portent une information scientifique, mais aussi une force artistique incroyable »

Luc Ebbo, paléontologue autodidacte, découvreur de dinosaures et fondateur de la Paléogalerie

sieurs kilomètres. En tout, ce sont plusieurs tonnes de matériaux qui ont été déplacés. Une fois nettoyés, les os formaient un amas sans connexions qu'il a fallu référencer et réarranger afin de reconstituer le fossile. « *Un travail qui a été particulièrement fastidieux pour ordonner les plaques de l'armure qui ont chacune une forme unique. C'était comme résoudre un puzzle de plus de 300 pièces, sans modèle, mais avec, heureusement, le concours d'un spécialiste des ankylosaures* », explique François-Xavier Blouet, technicien-préparateur en paléontologie, qui a besogné plusieurs mois dessus.

À Salignac, il trône désormais avec son armure dressée sur une arche métallique, un soclage qui relève autant de la ferronnerie que de l'orfèvrerie. Luc Ebbo attache d'ailleurs une attention toute particulière à la présentation de ses pièces : « *La nature livre des objets qui portent une information scientifique à ne pas perdre, mais ils ont aussi une force artistique incroyable et il faut toujours allier les deux* », insiste-t-il. Un parti pris qui se lit dans l'arrangement des spécimens, qui s'affichent tantôt sur le substrat sur lequel ils ont été trouvés ou animés d'un mouvement presque naturel.

Des créatures marines côtoient des dinosaures terrestres

Durant ces pérégrinations, dans ce qui était autrefois le fond d'un océan, Luc Ebbo a réussi à dénicher les traces de deux autres dinosaures bien terrestres : le squelette partiel d'un second théropode, un abélisauridé, et le crâne d'un titanosaure de 8 mètres de long, une petite taille par rapport à s es cousins d'Amérique du Sud. Mais il eût été anormal de ne pas faire la part belle aux créatures marines dans la galerie : celle-ci s'ouvre sur une magnifique scène présentant une gigantesque ammonite autour de laquelle des centaines de plus petites ainsi que d'autres créatures marines ont été préservées, un véritable cimetière marin qui a nécessité plus de 6000 heures de préparation. Un peu plus loin, c'est une autre immense créature qui trône : un ichtyosaure de 5 mètres de long avec sa longue tête enroulée vers le bas et tournée en direction du corps. Ce reptile marin est sans doute l'un des plus complets retrouvés pour la période du crétacé, et bien que le bassin vocontien corresponde à une ancienne mer, y trouver des fossiles de gros vertébrés marins « *reste tout de même rarissime* », se réjouit Luc Ebbo. Après les dinosaures et les ichtyosaures, il compte maintenant consacrer une bonne partie de son temps à préparer le bon millier de pièces qu'il possède déjà et parmi lesquelles il espère dénicher des crocodiles marins, autres anciens habitants de ce milieu, qu'il mettra en avant lors de prochaines expositions. ■

Joël Ignasse

Photos : Pascal Goetgheluck

Cet ankylosaure de 110 millions d'années environ, trouvé et dégagé par Luc Ebbo, est présenté en pied dans la Paléogalerie (ici, son socle est en cours de soudure).

Paléogalerie

901, route du village, 04290 Salignac.
Ouverte jusqu'au 29 septembre 2024.
Rens. : 06.80.78.98.78 ;
paleogalerie@orange.fr

L'astrarium, une révolution planétaire

Au XIVe siècle, le Vénitien Giovanni Dondi conçoit et fabrique la première horloge planétaire mécanique d'Occident indiquant la position exacte des cinq planètes visibles à l'œil nu, en plus du Soleil et de la Lune. La prouesse de cet horloger, médecin et astronome a été de mécaniser les mouvements célestes uniquement accessibles jusqu'alors avec des tables de calcul.

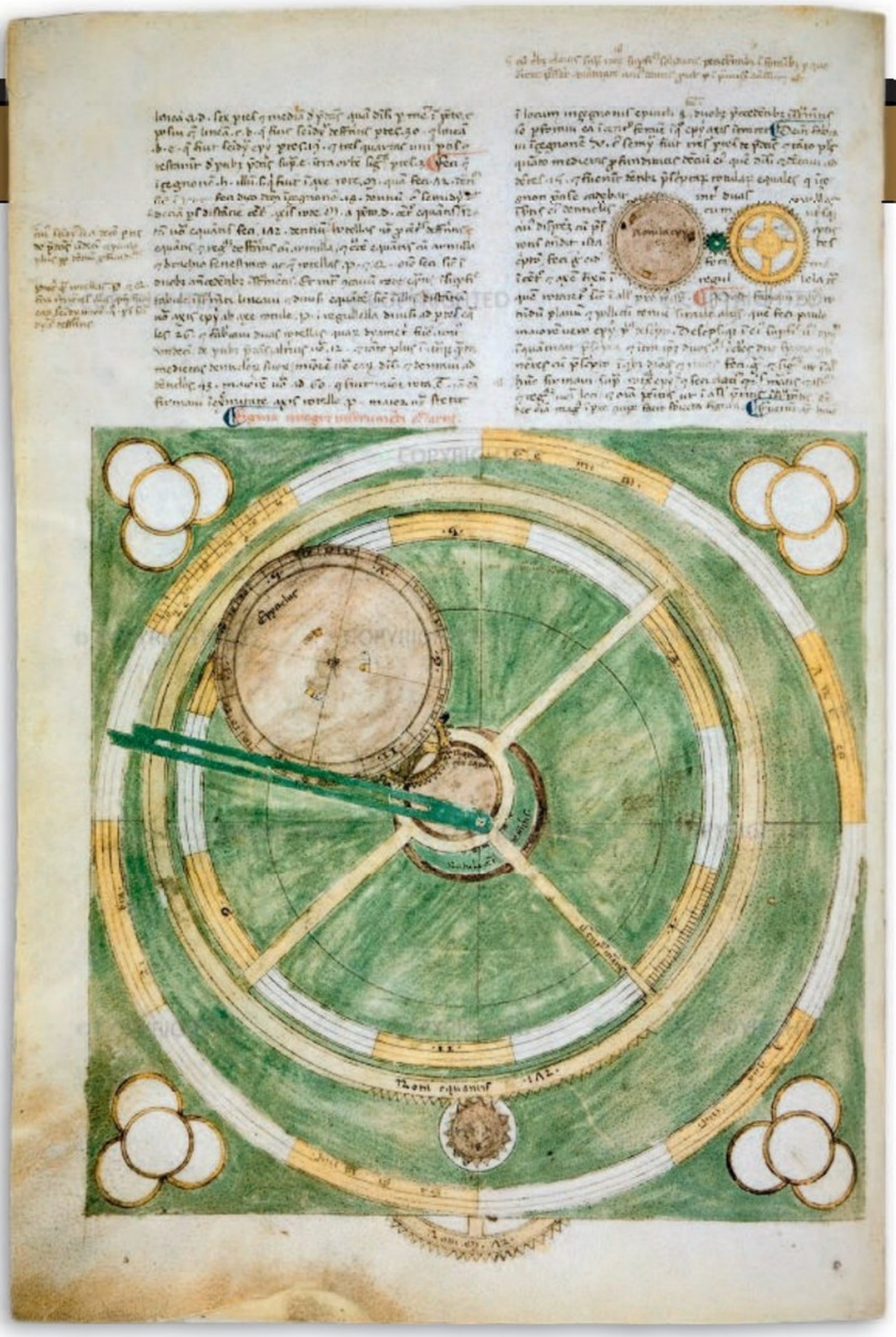
Par Denis Savoie

Lorsque Charles Quint se rendit en Italie en 1530 pour se faire couronner empereur des Romains par le pape, il eut une exigence : voir ce qui était considéré à l'époque comme la huitième merveille du monde, à savoir l'astrarium. Il s'agissait de la première horloge planétaire mécanique d'Occident, construite à Padoue par Giovanni Dondi (1330-1388). Cet horloger, médecin et astronome de la province de Venise avait mis seize ans, entre 1365 et 1381, à construire une horloge bien plus ambitieuse que l'horloge astronomique que son père avait installée à Padoue. Alors qu'une horloge astronomique indique, en plus de l'heure, la position du Soleil et de la Lune dans le zodiaque, une horloge planétaire comme l'astrarium donne également la position des cinq planètes visibles à l'œil nu (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne). Autrement dit, en se plaçant devant l'astrarium, on pouvait voir en temps réel où les planètes étaient situées dans le ciel. Cette prouesse était le résultat de la mécanisation des modèles planétaires permettant de calculer la position d'un astre errant en fonction de la date.

Giovanni Dondi bénéficia en premier lieu de l'invention récente de l'horlogerie mécanique, apparue à la fin du XIIIe siècle et qui répond à la combinaison de trois composantes : un moteur, un régulateur et un démultiplicateur. Toutes les horloges — jusqu'à l'invention par Christiaan Huygens du pendule en 1673 —, reposent sur le principe de la chute d'un poids (le moteur) qui entraîne un foliot (le régulateur). L'idée est de faire frapper alternativement, par deux palettes soudées sur un même axe et faisant entre elles un angle droit, deux dents diamétralement opposées d'une couronne placée verticalement et comptant un nombre impair de dents. La couronne est entraînée par le poids moteur, mais chacune des palettes, à tour de rôle, stoppe la couronne en bloquant une de ses dents, puis, autorisant le passage de celle-ci, laisse repartir la couronne que l'autre palette immobilise à son tour de la même façon avant d'autoriser le passage de la dent qu'elle vient de bloquer et un nouveau départ de la couronne. Bien que robuste, l'horloge à foliot n'est pas précise puisqu'on s'accorde à dire qu'elle dérive au mieux de 20 minutes par jour. Mais la révolution apportée en Europe par les horloges mécaniques est considérable : les heures sont désormais sonnées et, surtout, elles durent toutes 60 minutes. Les horloges imposent donc à l'Europe l'heure équinoxiale, c'est-à-dire une heure de durée constante qui ne dépend plus ni de la date ni du lieu comme dans les cadrans solaires antiques qui indiquaient les heures dites inégales.

DENIS SAVOIE

Historien des sciences, Denis Savoie est conseiller scientifique à Universcience.



THE HISTORY COLLECTION/ ALAMY/ PHOTO12

Dans ce manuscrit, Giovanni Dondi décrit minutieusement la construction de son horloge planétaire en incluant des dessins techniques (ici l'épicycle de Mars).

Giovanni Dondi va ensuite mécaniser un instrument typiquement médiéval, l'équatoire, sorte de calculateur en papier. L'équatoire repose sur les théories géocentriques de l'astronome grec Ptolémée (IIe siècle), et plus particulièrement sur les modèles de son *Almageste*. Cet ouvrage majeur de l'astronomie antique propose pour chaque astre errant un modèle géométrique : les planètes tournent autour de la Terre immobile sur des combinaisons de cercles qui rendent compte de leur position dans le ciel. *L'Almageste* fut décliné par Ptolémée sous la forme de tables. Leur usage était réservé à des astronomes (et aux astrologues), mais le calcul de la position d'une planète à un jour et une heure précis nécessitait de manipuler de nombreuses valeurs numériques qu'on ajoutait, multipliait, soustrayait, forcément manuellement, ce qui demandait un temps considérable. Les équatoires sont des disques gradués superposés en papier que l'on cale à la date voulue (en utilisant des tables astronomiques) puis, à l'aide de fils tendus, on lit sur la circonférence la position de la planète dans le zodiaque. Ils permettent donc d'abréger considérablement les calculs manuels, mais sans les supprimer totalement. Il y a un équatoire par planète, soit au total sept instruments. C'est d'ailleurs pourquoi l'astrarium de Dondi est une horloge en forme de cage d'environ un mètre de haut, comportant sept faces composées en laiton. Contrairement aux horloges planétaires ultérieures des XVe et XVIe siècles, Dondi n'a pas caché toute la mécanique des engrenages, qui reste apparente et laisse l'observateur fasciné par cette prouesse technique.

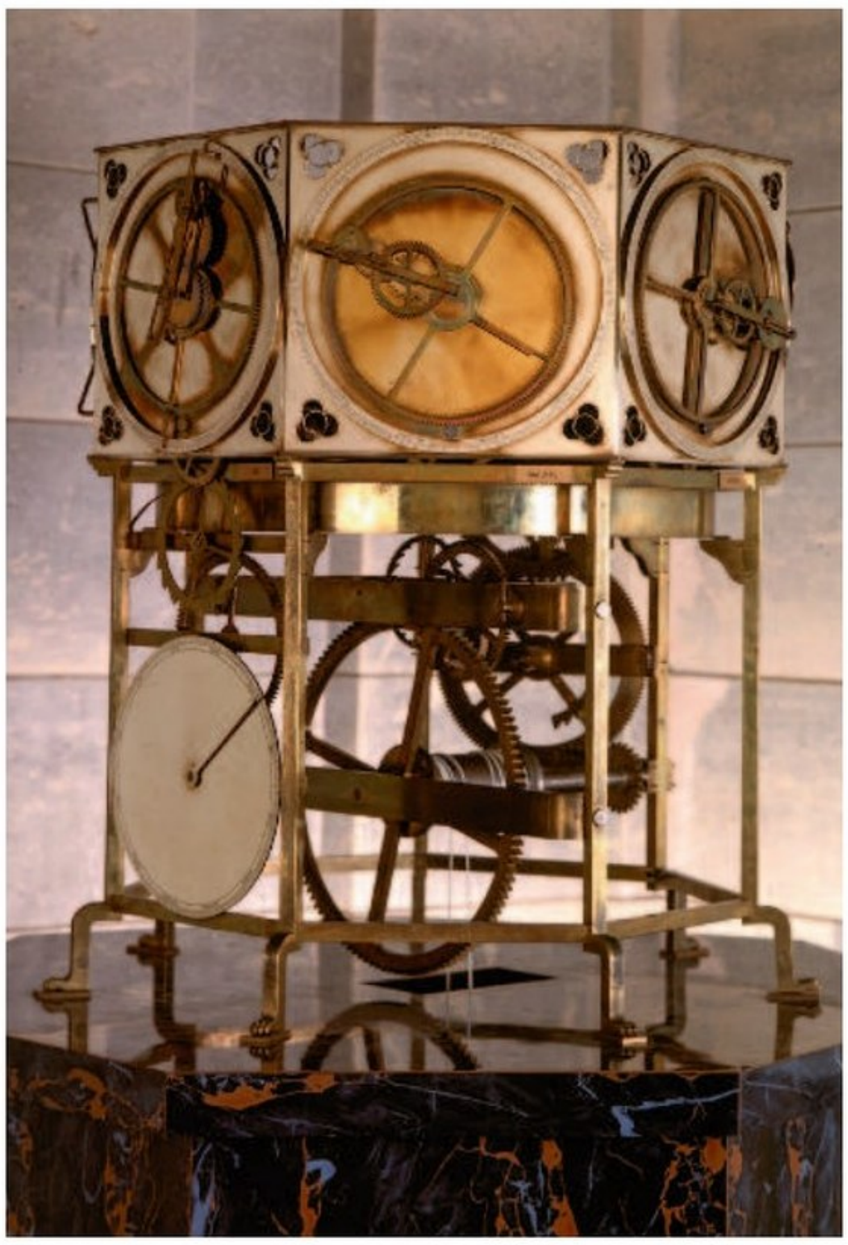
L'astrarium disparaît au XVe siècle sans que l'on sache comment

Si l'instrument construit par Giovanni Dondi a suscité chez ses contemporains et, plus tard, jusqu'à l'empereur Charles Quint une admiration légitime, il a totalement disparu au XVIe siècle sans que l'on sache comment. On sait par ailleurs qu'il était souvent en panne… Heureusement, nous est parvenu le « journal de bord » de Dondi à travers un manuscrit exceptionnel, illustré et en couleur, resté dans sa famille jusqu'au XVIIIe siècle et qui est conservé à la bibliothèque capitulaire de Padoue. Dans ce manuscrit, Giovanni Dondi a minutieusement décrit toute la construction de l'astrarium.

Une des grandes subtilités de cet instrument est que le poids qui entraîne le foliot (qui doit être remonté toutes les deux heures !) transmet d'abord son mouvement à l'horloge commune, composée d'un cercle en rotation gradué de 1 à 24. Un indicateur permet de voir défiler les heures, qui sont à Padoue au XIVe siècle les heures italiques, comptées depuis le précédent coucher de Soleil : lorsque l'horloge indique 24 h, cela signifie que le Soleil se couche. L'horloge entraîne directement une roue horizontale appelée « roue de l'année », composée de 365 dents : c'est elle qui, en avançant d'une dent par jour, transmet le mouvement aux planètes. Celles-ci sont associées à un système de démultiplication indépendant très sophistiqué inventé par Dondi : il permet par exemple que Mercure parcourt son « déférent » (*lire l'encadré ci-*

Giovanni Dondi n'a pas caché toute la mécanique des engrenages, qui reste apparente et laisse l'observateur fasciné par cette prouesse technique

dessous) en 88 jours alors que Saturne le parcourt en 30 ans. L'horloge entraîne aussi directement la face « Soleil » située juste au-dessus : Dondi y indique, à l'aide d'un tympan astrolabique, non seulement la hauteur du Soleil à Padoue en fonction de l'heure, mais aussi la position du Soleil dans le zodiaque ainsi que l'heure inégale de nuit. La roue de l'année signale également les jours et les fêtes des saints. Notons l'exception que constitue la face « Lune », directement entraînée par la face « Soleil » et non par la roue de l'année, dont certains de ses engrenages ont des formes irrégulières ; en dessous de la Lune se trouve la face du « Dragon », qui permet de suivre les périodes où les éclipses sont possibles.



ERIC VANDEVILLE / AKG IMAGES

Reconstruction de l'astrarium réalisée par une équipe d'historiens, d'ingénieurs et de chercheurs de l'Observatoire de Paris et de l'université PSL, visible au musée des Arts et Métiers, à Paris.

On peut « voir » les planètes avancer, stationner, rétrograder, repartir…

Pour chaque face planétaire, l'astrarium permet de lire à l'aide d'une réglette la coordonnée de la planète dans le ciel sur la bordure externe divisée en secteurs zodiacaux de 30°. La planète elle-même est figurée sur l'« épicycle » par un rivet qui coulisse dans une règle évidée, centrée sur la Terre. Ainsi Mars parcourt son épicycle en 780 jours, tandis que le centre de l'épicycle parcourt le « déférent » en 687 jours. On peut donc « voir » les planètes avancer, stationner, rétrograder, repartir, etc. En vérité, il n'y a que les mouvements du Soleil et de la Lune qui sont sensibles à l'œil nu, d'autant que l'astrarium ne fonctionne pour les planètes que de façon intermittente. On imagine les difficultés qu'il y avait à régler cette machine où chaque face devait être calée sur une position précise en fonction de la date. D'autant que Dondi a réduit volontairement le nombre de roues et de pignons, de sorte que les positions indiquées ne sont pas très précises. Sans oublier, enfin, la mise à l'heure de l'ensemble qui supposait sans doute l'aide d'un cadran solaire.

L'usage de cet astrarium était plus astrologique qu'astronomique. Au XIVe siècle, l'astrologie joue un grand rôle dans l'aide à la prise de décision, et si l'instrument permet en théorie de dresser un horoscope « en direct » en notant les positions des astres, c'est davantage comme indicateur d'instants favorables pour les initiatives (mariage, constructions, récoltes, soins, guerres…) qu'il servait. L'autre finalité de Giovanni Dondi était de réussir la prouesse de mécaniser les mouvements célestes, uniquement accessibles jusqu'alors avec des tables ou des équatoires. La reconstruction de l'astrarium à la fin des années 1980 à l'Observatoire de Paris — aujourd'hui installée en permanence au musée des Arts et Métiers à Paris — permet de contempler un instrument parfaitement fonctionnel et fidèle à celui qu'avait imaginé Giovanni Dondi. ■

ASTRONOMIE

Le modèle planétaire de Ptolémée

Dans le système géocentrique de *L'Almageste*, la Terre est immobile, au centre du monde : tous les astres tournent autour d'elle. Afin de rendre compte du mouvement des planètes au fil des mois devant les étoiles, qui est tantôt direct, tantôt rétrograde, Ptolémée (IIe siècle) reprend l'idée des épicycles de l'astronome Apollonius de Perge (IIIe siècle avant notre ère) en la perfectionnant. Une planète parcourt un petit cercle de centre C, appelé « épicycle », en une révolution synodique tandis que le centre C de l'épicycle parcourt le grand cercle, appelé « déférent », en une révolution sidérale. En composant les deux mouvements, on voit que depuis la Terre, la planète peut avoir tantôt un mouvement direct, tantôt un mouvement rétrograde dans le ciel. Pour les planètes Mars, Jupiter et Saturne, dont les rétrogradations sont inégales, Ptolémée a imaginé un point symétrique à la Terre par rapport au centre, appelé « point équant », depuis lequel le mouvement de l'épicycle se fait de façon uniforme.

GRANGER / BRIDGEMANIMAGES

La durée du voyage, le nombre de passagers et la nature des virus ont joué un rôle dans la transmission des maladies (ici l'arrivée de Christophe Colomb sur l'île d'Hispaniola en 1492).

À voiles ou à vapeur, les bateaux ont propagé les maladies

Qu'ils transportent des explorateurs ou des émigrants, les bateaux à voiles puis à vapeur ont propagé toutes sortes de maladies à travers le monde. Mais la contamination n'était pas automatique, selon de tout nouveaux travaux.

Alors qu'ils partaient découvrir le monde ou changer de vie, les passagers des bateaux à voiles ou à vapeur ont propagé bon nombre de maladies au cours des siècles. Si les transmissions aux populations locales ne se sont pas faites de façon foudroyante, celles-ci ont malgré tout été peu à peu affectées par de nouveaux virus. C'est ce que montre un travail de modélisation sur la grippe, la rougeole et la variole publié cet été dans la revue *Pnas*. 18 expéditions ont été analysées par une équipe de l'université de Californie (États-Unis). Parmi elles, certains bateaux mythiques comme le *Santa-Maria*, célèbre pour avoir conduit Christophe Colomb vers les Amériques, ainsi que le *Mayflower*, transportant en 1620 d'Angleterre en Amérique du Nord un groupe de dissidents religieux, les Pilgrim fathers (« Pères pèlerins »), à la recherche d'un lieu pour pratiquer librement leur religion.

Parmi les facteurs pris en compte : la durée du voyage, le nombre de passagers, le taux de propagation ainsi que la durée de vie de chaque virus. « *Les bateaux transportant beaucoup d'enfants, comme ceux remplis d'émigrants, étaient sans doute plus vulnérables face à la maladie* », explique Elizabeth Blackmore, coautrice de l'étude. Les témoignages qui restent de la vie à bord suggèrent que les maladies infectieuses étaient courantes. Mais d'après les résultats, la propagation était très différente selon le virus. « *Notre modèle suggère qu'une infection dure en moyenne 5 jours pour la grippe, mais 20 jours pour la rougeole et un mois pour la variole* », poursuit la chercheuse. Ainsi, si un des 41 passagers du *Santa-Maria* portait la grippe, il y aurait eu moins de 0,1 % de chances pour que la maladie soit transmise dans le Nouveau Monde après 35 jours de voyage. En revanche, si une personne souffrait de la rougeole, le risque s'élevait à 24 %. Pour la variole à 33 %.

Des épidémies plus tardives dans le Pacifique

En 1620, le *Mayflower* a mis 66 jours — presque deux fois plus longtemps — pour conduire les Pères pèlerins à Plymouth, dans le Massachusetts. Malgré les 127 personnes à bord, les chances de transmission étaient encore plus faibles : moins de 0,1 % pour la grippe, 13 % pour la rougeole et 17 % pour la variole.

Certaines maladies n'ont pu atteindre d'autres parties du monde qu'à l'arrivée du bateau à vapeur. « *Ils ont drastiquement réduit la durée des voyages, ce qui a augmenté le risque de propager des pathogènes. De nombreuses îles du Pacifique ont ainsi vu l'arrivée de la rougeole et de la variole à la toute fin du XIXe siècle.* »

Ces navires embarquaient aussi beaucoup plus de monde. « *Certaines maladies se sont rapidement propagées de l'autre côté de l'Atlantique. Mais cela ne s'est pas fait en une seule fois. Les premières archives mentionnant des épidémies de rougeole datent des années 1500. Dans le Pacifique, elles ont eu lieu bien plus tard. Pas avant 1854 en Polynésie française et en 1875 dans les îles Fidji* », précise Elizabeth Blackmore. ■

Coralie Lemke

SHUTTERSTOCK

99,5 % des espèces d'araignées sont inoffensives pour l'humain (ici, « Portia labiata »).

Étonnantes araignées

Au fil de cet ouvrage captivant, l'éthologue Raphaël Jeanson nous fait changer de regard sur ces petites bêtes qui font si peur.

PORTRAIT L'ignorance engendre la peur. La perception négative qu'un certain nombre d'entre nous a des araignées en est un excellent exemple. Mais cette aversion, qui puise à des sources nombreuses et complexes, n'est pas universelle : chez les Bamouns du Cameroun par exemple, on pense qu'elles peuvent prédire l'avenir. Raphaël Jeanson est un des meilleurs spécialistes de ces petites bêtes en France. Ici, sa démarche est simple : tordre le cou aux préjugés en se basant sur les faits, juste les faits, rien que les faits. Saviez-vous par exemple que seules 250 espèces d'araignées (0,5 % des quelque 52 000 espèces connues) sont potentiellement dangereuses pour l'humain ?

Son panorama, complet et didactique, retrace leur évolution, détaille leur anatomie, leurs modes de communication et de reproduction, etc. Il s'attarde aussi sur une dimension méconnue : 19 espèces d'araignées sont dites sociales, vivant en colonies, coopérant pour constituer des toiles parfois immenses, chassant de manière collective. Raphaël Jeanson et son équipe cherchent à expliquer ce comportement rare. Une quête scientifique dont il nous livre le cheminement, du choix de l'espèce à étudier aux résultats des observations, en passant par l'émission d'hypothèses et la conception d'expériences pour tester ces idées.

Captivant, ce récit rigoureux alerte aussi sur les conséquences désastreuses, du point de vue écologique, d'un monde sans araignées. Un danger qui reste insuffisamment pris en compte dans les politiques de conservation, regrette l'éthologue. Puisse son livre aider à faire évoluer la situation dans le bon sens ! ■ **Vincent Glavieux**

Dans la tête d'une araignée, Raphaël Jeanson, HumenSciences, 224 p., 19 €

SOMMAIRE

▶ C'est à lire p. 90
▶ C'est à voir p. 93
▶ Chroniques p. 94
▶ Questions de lecteurs p. 96
▶ Le ciel du mois p. 97
▶ Jeux p. 98

Sciences pratiques

INITIATION Comment voir les vibrations du son ou faire tourner du papier avec un radiateur ? Pourquoi les fruits coupés noircissent ? Dans cet ouvrage réalisé avec des physiciens et des biologistes du CNRS, des expériences faciles à réaliser permettent de répondre à 130 questions portant sur divers domaines des sciences. Cela permet ainsi de découvrir, pour les exemples cités, le déplacement des vibrations dans l'air, l'existence des courants d'air chauds et froids et le pouvoir oxydant de l'air. Une façon amusante de s'initier à la méthode scientifique, dès 7 ans. **S. R.**

Fais l'expérience !, Espace des sciences de Rennes, éditions Apogée, 160 p., 20 €

L'aventurier des Pôles

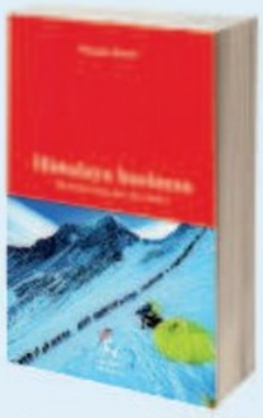
COMBAT En 2012, lorsqu'il pose devant le pieu du pôle Sud, les traits tirés par le manque d'oxygène, Michel Rocard devient le deuxième homme d'État à visiter les deux pôles géographiques terrestres. Pour l'ancien Premier ministre, c'est le point d'orgue de son investissement pour ces environnements glacés, qui a mené au protocole de Madrid pour la protection de l'Antarctique (1991), et à son ultime combat pour sanctuariser l'Arctique. Un défi relevé avec le compagnonnage de Laurent Mayet, ancien rédacteur en chef à *Sciences et Avenir*, qui nous livre ici le récit passionnant de neuf années d'aventures sur les toits du monde. **S. R.**

Banquise, Laurent Mayet, JC Lattès, 220 p., 22 €

Parlez-vous alien ?

DÉFI Si des civilisations extraterrestres existent, comment pourrions-nous communiquer avec elles ? Partager des informations avec des êtres dont on ne connaîtrait absolument rien, ni de leur culture ni de leurs modes de communication, pose d'immenses défis, exposés dans cette courte mais fascinante introduction à la communication interstellaire. Réalisée par un linguiste du CNRS, elle présente notamment les deux grands types de situations possibles : un contact « face à face », et une communication à distance et donc différée. **F. D.**

Guide de communication interstellaire, Frédéric Landragin, UGA éditions, 131 p., 12,50 €



Embouteillage sur le toit du monde

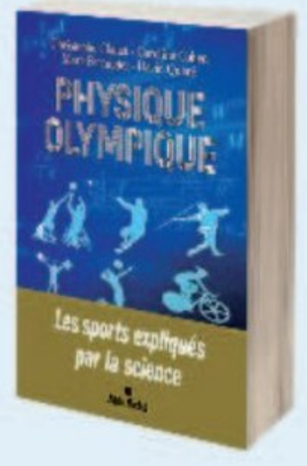
ENQUÊTE En 2023, la Norvégienne Kristin Harila enchaîne l'ascension des 14 sommets les plus élevés de la planète en trois mois. Avant elle, le Népalais Nimsdai avait déjà pulvérisé le record d'ascension des « quatorze 8000 » en six mois et six jours. Ces exploits sont désormais possibles grâce à la professionnalisation des agences de tourisme et une logistique toujours plus efficace : camps de base confortables livrés quotidiennement en nourriture par hélicoptère, sherpas chevronnés, montagnes équipées de cordes fixes et bouteilles d'oxygène offrent la possibilité de gagner le toit du monde sans aucune expérience ! Il suffit d'y mettre le prix. L'Himalaya subit à son tour le tourisme de masse et ses travers. Déchets matériels et humains, pollution des hélicoptères… En 2019, quatre personnes sont mortes après avoir attendu des heures leur tour pour gagner le sommet. L'« esprit d'équipe » des premiers grimpeurs a laissé place à l'obligation commerciale de mener les clients au sommet, quitte à enjamber un homme agonisant… Une enquête choc. ■ **Sylvie Rouat**

Himalaya business. Qu'avons-nous fait des 8000 ?, François Carrel, Guérin, 160 p., 22 €

Consultations transatlantiques

RÉCIT Passionné de voile, le Dr Jean-Yves Chauve a été le médecin officiel du Vendée Globe de 1989 à 2020. Outre ses travaux sur le sommeil et la vigilance en mer, il livre ici les récits d'aventures nautiques de ces marins, seuls à bord, qu'il a dû assister en cas de pépins… Le cas célèbre de Bertrand de Broc, obligé de se recoudre lui-même la langue dans les 40es rugissants en 1993, est ainsi un modèle extrême de téléconsultation dont Jean-Yves Chauve est par la force des choses devenu un pionnier. **H. J.**

Médecin du large, des grandes courses à la croisière, Jean-Yves Chauve, éditions Glénat, 240 p., 19,95 €



Les lois de la performance sportive

DÉCRYPTAGE Du cyclisme à l'athlétisme en passant par le tir à l'arc, le rugby ou le golf, cette somme décortique les phénomènes physiques impliqués dans plusieurs dizaines de sports. Illustrée par des images de gestes sportifs, des photographies historiques et de nombreux graphiques, elle relate *« un certain nombre d'expériences menées dans des stades devenus laboratoires à ciel ouvert »* et vise à *« comprendre les observations qui en ont résulté »*, expliquent les auteurs, tous chercheurs en dynamique des fluides, si essentielle dans quantité de disciplines sportives. L'idée est *d'« offrir aux athlètes de nouvelles pistes, en exprimant ce qui détermine, et de quelle façon, une vitesse, une force ou un degré de précision. »* Ils s'appuient en particuler sur les résultats et recherches en cours de Sciences 2024, programme lancé il y a six ans pour accompagner les athlètes français aux JO et les aider dans leur quête de performance. ■ **Franck Daninos**

Physique olympique, Christophe Clanet *et al.*, Flammarion, 303 p., 25, 90 €

C'EST À LIRE

Chili, Allende et big data

CYBER L'auteur a travaillé deux ans sur l'histoire d'une *« mystérieuse salle cybernétique à Santiago, au Chili »*. Il en ressort un aspect méconnu du gouvernement de Salvatore Allende : la quête d'une indépendance technologique au travers d'un projet de pilotage de l'économie en temps réel par les ordinateurs et les données. C'est le projet Cybersyn. Porté par le consultant britannique Stafford Beer, il fait ses preuves lors d'une grève des routiers en 1972. Mais les manœuvres des États-Unis puis le coup d'État de 1973 l'empêcheront de dépasser le stade du prototype. **A. D.**

Les Santiago Boys, Evgeny Morozov, éditions Divergences, 248 p., 17 €

Tout savoir sur le recyclage et ses limites

RUDOLOGIE Quand un anthropologue spécialiste du recyclage et un écologue pointu sur la valorisation des ordures se rencontrent, de quoi parlent-ils ? De rudologie, bien sûr ! Autrement dit, la « science des décombres » et de la poubelle. Le duo opère un tri salutaire entre idées reçues et connaissances. Il rappelle que l'humanité produit chaque année plus de 2 milliards de tonnes de déchets, soit 70 tonnes toutes les secondes. Et que le plastique à lui seul pèse plus que tous les animaux marins et terrestres réunis. Alors, d'où viennent ces déchets et où finissent-ils ? Jusqu'où peut-on espérer les recycler ? Appuyé de dessins et d'infographies, ce petit livre démonte les idées reçues, rappelle l'histoire des ordures depuis l'Antiquité. Et suit à la trace six produits de consommation courante : tomate en hiver, tee-shirt, canette de soda, bouteille en plastique, voiture et smartphone. Un éclairage précieux sur un dossier encombrant. ■ **Rachel Mulot**

La Civilisation du déchet, Jérémie Cavé, Alizée de Pin, Yann Philippe Tastevin, Les Arènes, 152 p., 20 €

Femelles de pouvoir

DÉCONSTRUCTION *« Un formidable pied de nez au sexisme scientifique. »* C'est ainsi que l'austère revue *Nature* a salué l'ouvrage *Bitch*, écrit par une élève de Richard Dawkins (*Le Gène égoïste*). Mais pas question pour elle de mettre ses pas dans ceux de son professeur, ni du premier des évolutionnistes, Charles Darwin. Lucy Cooke détaille ici la révolution qui, depuis les dernières décennies, a bouleversé notre vision des femelles. Hyènes dominantes, albatros lesbiennes, guenons polyandres, suricates meurtrières, orques ménopausées viennent ici défaire nos stéréotypes. **R. M.**

Bitch, le pouvoir des femelles dans le monde animal, Lucy Cooke, Albin Michel, 510 p., 24,90 €

Une formidable diversité

11 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous

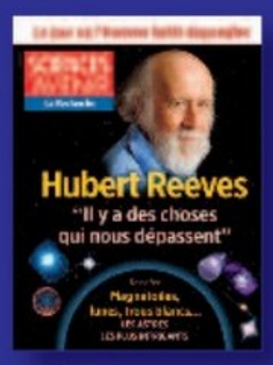
Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : 7 € par numéro payable par chèque à l'ordre de *Sciences et Avenir* (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir
service des abonnements
45, av. du Général-Leclerc 60643 Chantilly Cedex

❑ N° 922 ❑ N° 923 ❑ N° 924 ❑ N° 925
❑ N° 926 ❑ N° 927 ❑ N° 928 ❑ N° 929/930

Nom : .....
Adresse : .....
..... Ville : .....
Code postal : .....



N° 922 Hommage à Hubert Reeves

N° 923 L'évangile oublié qui bouleverse la Bible

N° 924 Dépression : les nouvelles pistes pour s'en sortir

N° 925 Énergie noire : la force qui déchire l'Univers

N° 926 Nouveaux traitements pour vaincre l'insomnie

N° 927 Univers : la première seconde

N° 928 La France à +4 °C Ce qui va changer

N° 929/930 20 questions qui obsèdent les scientifiques

EXPOSITIONS

Bordeaux (33)

Vivre et mourir en Égypte
Des œuvres, des papyrus, des monuments témoignent de la rencontre entre les cultures égyptienne et grecque à l'époque dite ptolémaïque (IIIe-Ier siècle avant notre ère).
Musée d'Aquitaine, 20, cours Pasteur, jusqu'au 3 novembre.
Rens. : 05.56.01.51.04.

Bougon (79)

À la recherche de l'arc perdu
Cette exposition sur l'arc, du néolithique aux jeux Olympiques, embrasse tous les usages de l'accessoire : chasse, guerre, sport. Si l'on en sait peu sur les archers primitifs, l'archéologie fournit quelques éléments précieux.
Musée des Tumulus, La Chapelle, jusqu'au 3 novembre.
Rens. : 05.49.05.12.13.

Boulogne-Billancourt (92)

Natures vivantes
Banquier et philanthrope, Albert Kahn a fait réaliser des milliers de films et photographies de ses jardins. Couleurs, mouvements des branches, séquences en accéléré de la croissance des plantes témoignent d'une grande passion pour le monde végétal.
Musée départemental Albert-Kahn, 14, rue du Port, jusqu'au 31 décembre.
Rens. : albert-kahn.hauts-de-seine.fr

Boulogne-sur-Mer (62)

Destination abysses
Au sein du parcours « Voyage en haute mer » de l'aquarium, une exposition est consacrée au monde méconnu situé à plus de 1000 m de profondeur dans les océans, peuplé d'araignées de mer géantes et de méduses bioluminescentes.
Nausicaá, boulevard Sainte-Beuve.
Rens. : 03.21.30.99.99.

Caen (14)

L'aube du siècle américain
Un angle original pour évoquer les 80 ans du débarquement en Normandie : raconter l'Amérique des années 1920. C'est-à-dire celle dans laquelle ont grandi les GI qui fouleront les plages françaises en 1944. Lire notre reportage : sciav.fr/931GI
Mémorial de Caen, esplanade Général-Eisenhower, jusqu'au 5 janvier 2025. Rens. : 02.31.06.06.45.

Draguignan (83)

Les routes de la soie, entre vestiges et imaginaire
Le parcours va du IIe siècle avant notre ère au XIIIe siècle. Il y est question des expéditions qui ont emprunté la route de la soie, mais aussi de la géographie, des échanges d'idées et du croisement des religions qui en ont découlé.
Hôtel départemental des expositions du Var, jusqu'au 29 septembre.
Rens. : 04.83.95.34.08.

Metz (57)

Voir le temps en couleurs
En 250 œuvres et 50 photographes, sont exposés les enjeux techniques auxquels a été confrontée la photographie. Du XIXe siècle à nos jours, on part de la volonté de reproduire et d'observer à celle de fixer l'instantané.
Centre Pompidou-Metz, 1, parvis des Droits-de-L'Homme, jusqu'au 18 novembre. Rens. : 03.87.15.39.39.

Narbonne (11)

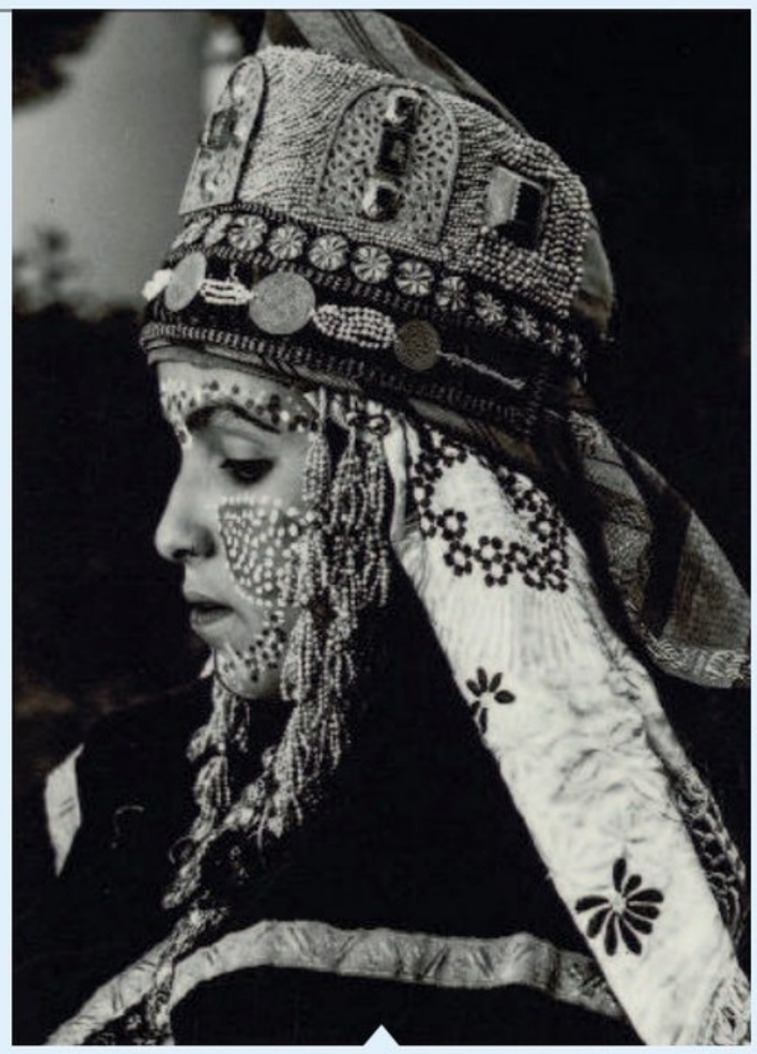
Escale en Méditerranée romaine
Cette exposition présente les résultats de dix ans d'archéologie consacrée au système portuaire de la ville de Narbo Martius, à l'époque romaine. Plus de 150 objets issus de fouilles évoquent les métiers et les activités.
Narbo Via, 2, av. André-Mècle, jusqu'au 5 janvier. Rens. : 04.68.90.28.90.

Sceaux (92)

Roues libres, la grande histoire du vélo
De la draisienne du XIXe siècle aux vélos récents, l'histoire technique de ce véhicule défile en 25 cycles.
Domaine départemental de Sceaux, Orangerie, 8, avenue Claude-Perrault, jusqu'au 31 décembre.
Rens. : 01.41.87.29.71.

Marseille (13) / Exposition

Méditerranées, épisode 1 : inventions et représentations



ADAGP,PARIS,2024 ; PHOTO © MUSÉE DU QUAI BRANLY - JACQUES CHIRAC, DIST. GRAND PALAIS RMN

Mariée citadine arabe de Rabat (1934-1939), photographie de Jean Besancenot.

Quelque 300 objets et documents composent la nouvelle exposition permanente du Mucem, lui-même édifié au bord de cette mer qu'il n'a de cesse de raconter depuis son inauguration en juin 2013. Ce parcours clôture une année de célébrations des dix ans du lieu. L'art et même les beaux-arts aux côtés de réalisations plus populaires animent les deux sections de l'exposition. Pour autant, aucune des deux ne constitue un reflet objectif des mondes qu'elles sont censées raconter. La notion même de Méditerranée, espace sans unité culturelle, politique ou linguistique, apparaît comme une construction de l'imaginaire européen. D'où le pluriel employé dans l'intitulé de l'exposition. La première section aborde la création du modèle antique (architecture, sculpture, textiles). La seconde est consacrée à la colonisation de l'est et du sud de la Méditerranée. Plus de la moitié des pièces et œuvres présentées ont été choisies dans les collections du Mucem, le reste provenant de dépôts d'une vingtaine d'institutions, pour la plupart françaises. Lire notre reportage : sciav.fr/931mediterranee ■

Joël Ignasse
Mucem, 7, promenade Robert-Laffont.
Rens. : 04.84.35.13.13.

Scannez ce QR code et retrouvez toutes les expositions dans notre guide

Christophe Cassou, directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), groupe 1.

Céline Guivarch, directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec, groupe 3.

A. BILLET / UNIVERSCIENCE

CLIMAT PAR CHRISTOPHE CASSOU ET CÉLINE GUIVARCH

Une année noire pour le climat et la biodiversité

2024 est une année noire pour le climat et la biodiversité. On pourrait imaginer que ce constat s'explique par des événements extrêmes toujours plus fréquents et plus sévères dans toutes les régions du monde, tous dopés par le réchauffement climatique. Inondations à répétition dans le Pas-de-Calais, Beryl, l'ouragan de catégorie 5 le plus précoce dans les Caraïbes, etc. Certes, mais pas que! L'année 2024 est aussi difficile en raison des séismes politiques qui se succèdent et affaiblissent les actions pour la préservation de la biodiversité et la protection de la population face au changement climatique. L'instabilité politique en France retarde le renouvellement de documents cadres relatifs au climat (la Stratégie nationale bas carbone, la loi de programmation Énergie-Climat…), ce qui sape la crédibilité de l'action du pays, ainsi que l'a pointé le Haut Conseil pour le climat dans une lettre adressée en mai au Premier ministre d'alors. Nous sommes profondément inquiets de la manière dont les enjeux climat-biodiversité ont été rendus inaudibles pendant les campagnes électorales européenne puis législative. Et au final, face à une Assemblée nationale où le climatoscepticisme assumé ou masqué a progressé. Ce moment politique questionne encore plus la communication des scientifiques sur les enjeux socio-environnementaux, qui reste trop désincarnée. Plus généralement, c'est tout le contrat science-société qui est ébranlé par l'invisibilisation des faits scientifiques voire leur détournement, dans un contexte de désinformation généralisée. Ce moment nous confronte à une forme d'impuissance qu'il va falloir analyser de manière lucide pour remettre les faits scientifiques à l'agenda démocratique. ■

Directrice de recherche au CNRS, Institut de recherche en informatique fondamentale (CNRS/université Paris Cité).

CLAIRE MATHIEU

MATHS PAR CLAIRE MATHIEU

Simplifier la recherche de références

Autrefois, pour effectuer une recherche bibliographique, on lisait un article récent du domaine, puis on consultait les articles mentionnés, et, parmi ceux-là, pour les plus intéressants on consultait les articles qu'ils citaient, et ainsi de suite. Cette recherche était généralement de durée raisonnable, car on retombait rapidement sur les quelques mêmes articles cités par tous les travaux sur le sujet, mais cette approche permettait seulement de remonter dans le passé. Pour être au courant des avancées plus récentes, on allait à la conférence du domaine et on lisait les résumés des articles présentés. Aujourd'hui, on a accès aux articles qui citent un article donné, et ça change tout! On peut effectuer une recherche utilisant les articles cités mais aussi les articles citant un article donné. Pour ceux-là, on peut consulter les articles qu'eux-mêmes citent ou qui les citent, et ainsi de suite. Après quelques itérations on retombe sur les mêmes articles : c'est le signe qu'on a fait le tour de la question. Cette forme de recherche permet de circuler à la fois dans le passé et dans l'avenir, et donc de découvrir également les avancées les plus récentes.
Ce travail est compliqué par les bibliographies lacunaires, mais aussi par celles qui citent trop de références. Pourrait-on demander aux auteurs de mettre l'essentiel de la bibliographie dans les 15 ou 20 premières références ? ■

ÉTHIQUE PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA

Doit-on étendre le statut de lanceur d'alerte aux lanceurs d'alarme ?

Professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : *Servitudes virtuelles*, Seuil, 2022.

Lanceurs d'alerte, *whistle-blowers* — de *whistle,* sifflet, et *blow*, souffler en anglais — ou encore carillonneurs attirent l'attention sur des faits répréhensibles ou contraires à l'intérêt général, afin qu'on enquête et prenne au plus vite des mesures salutaires. À l'évidence, lorsqu'elles portent sur des atteintes à la santé des personnes ou sur la détérioration de l'environnement, de telles révélations profitent à tous. Il faut les encourager, en dépit des obstacles qui se dressent. Pour éviter que leurs auteurs pâtissent de ceux qu'ils mettent en cause, des lois les protègent tant en Amérique du Nord qu'en Europe, en particulier en France, depuis qu'un statut de lanceur d'alerte a été reconnu en 2016. Le 5 juin, une lettre ouverte cosignée par des employés anciens et actuels d'OpenAI et de DeepMind, et parrainée par trois personnalités du secteur, Geoffrey Hinton, Yoshua Bengio et Stuart Russel, dénonçait les dangers cachés des techniques d'intelligence artificielle. Elle en profitait pour appeler à une extension du statut de lanceur d'alerte qui permette à des employés de grandes sociétés de divulguer des informations secrètes lorsqu'il en va du devenir de l'humanité. Comment ne pas y souscrire, face à la catastrophe annoncée ? Si ce n'est qu'à force d'effarouchements récurrents, leurs auteurs perdent toute crédibilité. Que sont ces secrets qui sourdent à notre insu ? Ils n'en disent rien, sauf qu'ils provoqueront un cataclysme.

Un des signataires, ancien employé d'OpenAI, Daniel Kokotajlo, estime dans une déclaration faite à la fin mai au *New York Times*, à 70 % les chances que l'intelligence artificielle générale produite par OpenAI et DeepMind détruise ou nuise irréversiblement à l'humanité. Mais, pourquoi 70 % plutôt que 10 % ou 90 % ? Aucune justification ne fonde son évaluation… Plus qu'une alerte envoyée à des personnes averties, ces déclarations publiques dans la presse sonnent comme le tocsin, pour alarmer et effrayer. Or, plus que de peur, nous aurions besoin de lumière face à de tels dangers ! ■

BRUNO LÉVY

L'ŒIL DE LASCAR

Fin de partie. Elle sera mise à la retraite en 2030, détruite après : la Nasa a sélectionné SpaceX pour construire un véhicule suffisamment puissant pour repousser la Station spatiale internationale — 430 tonnes ! — vers l'atmosphère terrestre, où les frottements la désintégreront en partie. Quant aux morceaux restants, il faudra qu'ils tombent dans l'océan. Le contrat remporté par l'entreprise d'Elon Musk a une valeur totale pouvant aller jusqu'à 843 millions de dollars. **O. L.**

QUESTIONS DE LECTEURS

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

PLANÉTOLOGIE

La Terre plate est-elle une croyance du Moyen Âge ?

Diego S.

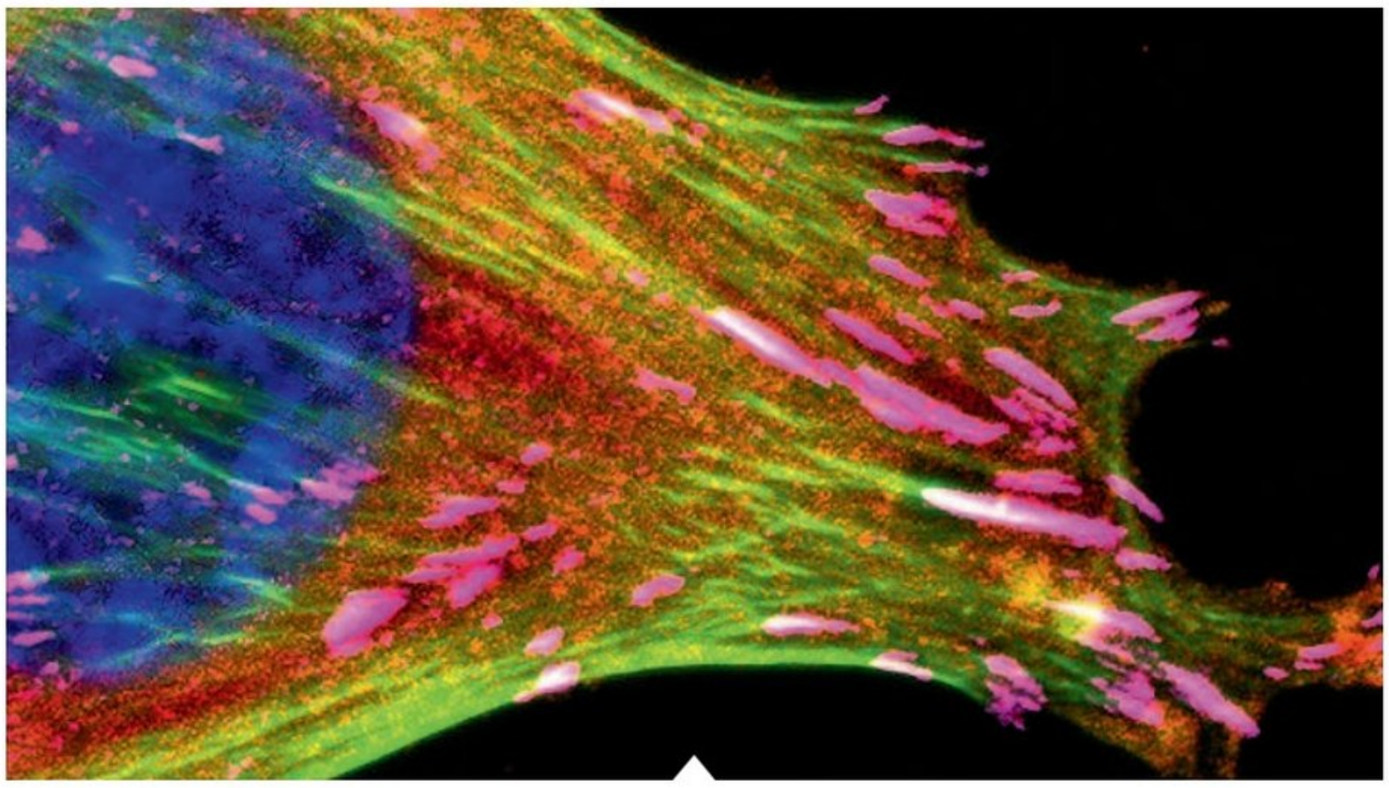
L'idée qu'au Moyen Âge, on croyait la Terre plate et que Christophe Colomb en a démontré la rotondité est très répandue. *« Mais elle est fausse !*, rétorque Sylvie Nony, chercheuse associée à l'université Paris Cité. *Même les premiers Pères de l'Église n'ont aucun doute sur la sphéricité de la Terre. Les traces écrites depuis Platon et Aristote décrivent un monde sphérique. »* Des raisonnements qui s'appuient sur l'attraction des objets par la Terre ou les éclipses de Lune. *« Voltaire a contribué à propager ce mythe,* poursuit la chercheuse. *But inavoué : faire de la Renaissance une période de lumière, opposée au Moyen Âge obscurantiste. »* ■ **L. L.**

ASTRONOMIE

Les étoiles changent-elles de place pendant la nuit ?

William S.

Les étoiles bougent, ne serait-ce que parce que l'Univers se dilate. Mais elles sont trop éloignées de nous pour que leur déplacement soit perceptible à l'échelle d'une vie. En revanche, nous pouvons observer chaque nuit les mouvements de la voûte céleste. La rotation de la Terre modifie le point de vue de l'observateur, comme s'il était sur un manège. Notre planète tournant sur elle-même en vingt-quatre heures, les étoiles « bougent » de 15 degrés chaque heure. Dans l'hémisphère Nord, ces déplacements semblent s'effectuer autour d'un point fixe, l'étoile Polaire, parce que cet astre est situé dans le prolongement de l'axe de rotation terrestre. ■ **Loïc Chauveau**



NIH / IMAGE POINT FR / BSIP

Cellules cancéreuses du sein (en bleu) vues au microscope.

ONCOLOGIE

Pourquoi les cas de cancer augmentent chez les moins de 50 ans ?

Fab L.

Le constat est alarmant : entre 1990 et 2019, le taux de cancers a quasiment doublé (+80 %) chez les moins de 50 ans à travers le monde, selon une étude publiée en 2023 dans *BMJ Oncology*. Le phénomène, qui affecte particulièrement les pays développés, se traduit aussi par une hausse de 28 % en trente ans des morts du cancer chez les moins de 50 ans. Comment expliquer l'ampleur du phénomène ? *« À l'heure actuelle, il n'y a pas d'élément concluant pour privilégier une explication »*, répond Shivan Sivakumar, chercheur à l'université de Birmingham (Royaume-Uni). Les scientifiques privilégient deux grandes pistes : soit les générations récentes ont été plus exposées que leurs prédécesseurs à des facteurs de risque bien connus, soit de nouveaux risques sont apparus. La première piste est notamment alimentée par un constat : comparés aux générations précédentes, les quadragénaires actuels étaient plus jeunes quand ils ont fait l'expérience du tabagisme, de la consommation d'alcool ou de l'obésité.

L'autre piste avance l'apparition de nouveaux cancérogènes. Les théories sont multiples (produits chimiques, microplastiques, nouvelles drogues…) mais restent toutes spéculatives. Objets d'une forte attention médiatique, les aliments ultratransformés ont récemment été cités comme possibles coupables. Mais, là encore, *« il existe pour l'instant très peu de données pour appuyer cette idée »*, note l'épidémiologiste Helen Coleman, de l'université Queen's de Belfast (Irlande du Nord). ■ **Lise Loumé**

LE CIEL DE SEPTEMBRE

PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

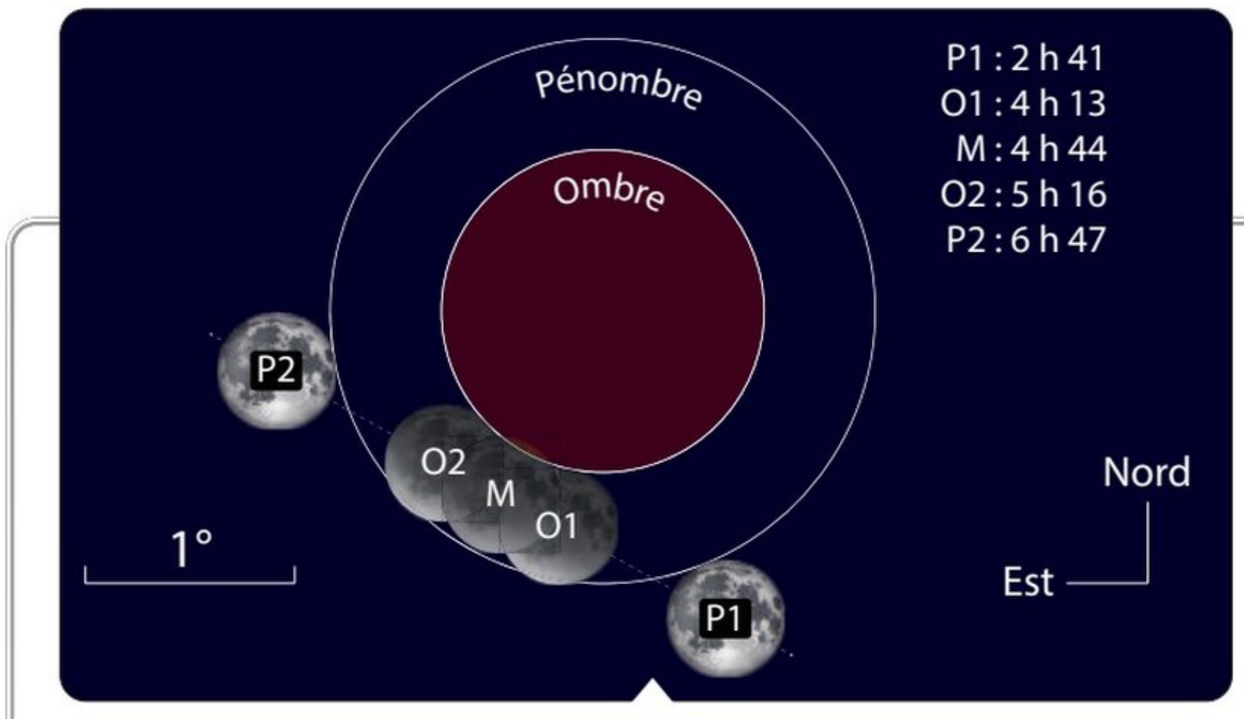
MERCURE La petite planète atteint sa plus grande distance angulaire (18°) à l'ouest du Soleil le 5. Elle est observable le matin pendant les 15 premiers jours du mois environ. Elle passera en conjonction supérieure avec le Soleil le 30.

VÉNUS Très basse vers le couchant en soirée, l'étincelante étoile du Berger n'est accessible qu'avec un horizon ouest parfaitement dégagé. Elle pâtit toujours d'un écliptique très peu incliné sur cet horizon le soir. Tout ce mois, elle se couche environ 1 h après l'astre du jour.

MARS La planète Rouge se lève un peu après minuit. Elle se situe en fin de nuit à une soixantaine de degrés de hauteur vers le sud-est.

JUPITER La plus grosse planète du Système solaire se lève en seconde partie de soirée et domine par son éclat puissant le ciel du reste de la nuit.

SATURNE La planète aux anneaux passe à l'opposition le 8 et se trouve dans des conditions optimales d'observation, visible toute la nuit. Un instrument d'optique muni d'un grossissement d'au moins 30 fois vous dévoilera son système d'anneaux, qui se présente presque par la tranche actuellement.



Les différentes phases de l'éclipse. De droite à gauche : entrée dans la pénombre (P1), entrée dans l'ombre (O1), maximum (M), sortie de l'ombre (O2) et sortie de la pénombre (P2).

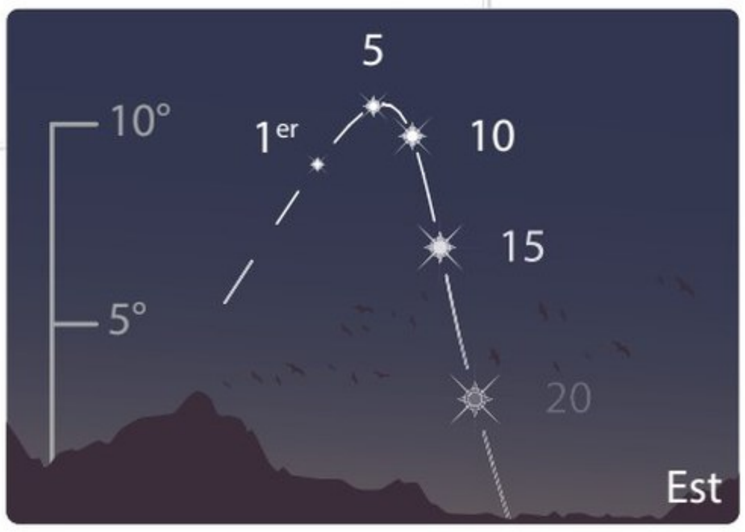
Une éclipse partielle de Lune le 18

DANS LA NUIT DU MARDI 17 AU MERCREDI 18, il y aura une éclipse partielle de Lune visible en France métropolitaine. Le phénomène général débutera à 2 h 41 et prendra fin à 6 h 47. Entre 4 h 13 et 5 h 16, la petite fraction du disque lunaire plongée dans l'ombre de la Terre sera nettement assombrie et présentera une teinte rougeâtre.

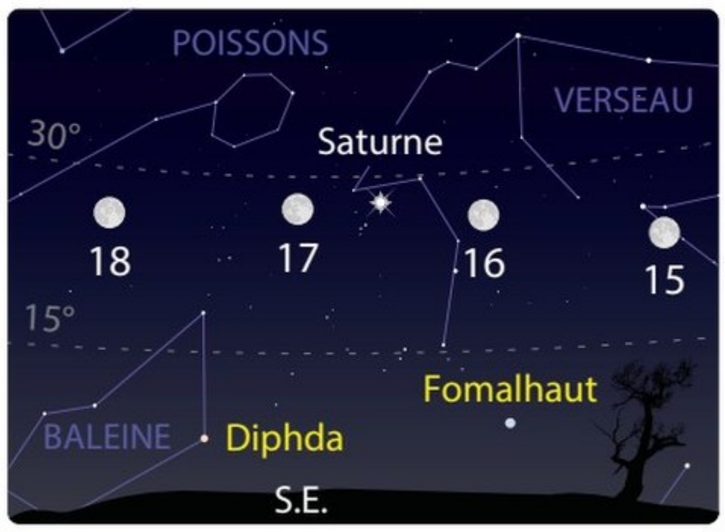
Notre conseil Contrairement aux éclipses de Soleil, l'observation d'une éclipse de Lune ne nécessite aucune protection particulière. Un appareil photo vous permettra de conserver le souvenir de ce joli phénomène.

L'appli du mois

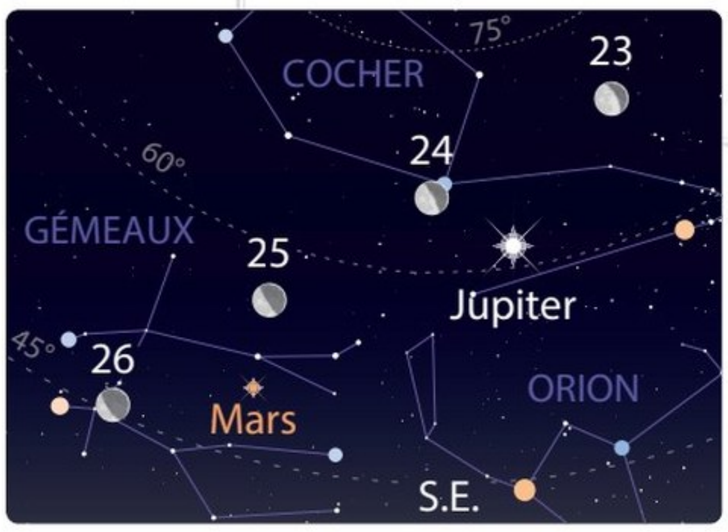
SKYVIEW LITE est une application gratuite en anglais pour iOS et Android. Elle permet d'identifier les planètes et les étoiles en pointant simplement votre appareil vers le ciel, propose la réalité virtuelle ainsi qu'une fonction faisant apparaître la trajectoire de l'astre observé. Très pratique pour savoir où le Soleil et la Lune se coucheront !



OBSERVER MERCURE LE MATIN, 30 MINUTES AVANT LE LEVER DU SOLEIL, ne devrait pas être trop compliqué… à la condition impérative de bénéficier d'un horizon est bien dégagé.



LES 16 ET 17 VERS 23 H, la Lune très proche de sa plénitude (et donc très brillante voire gênante) vous permettra de débusquer Saturne sans ambiguïté dans le Verseau.



DU 23 AU 26, LA LUNE EN DERNIER QUARTIER passera au large des planètes Jupiter et Mars, à bonne hauteur vers le sud-est. Nous sommes ici deux heures avant le lever du Soleil

Scannez ce QR code pour découvrir la carte du ciel de septembre

SOLUTIONS DANS LE PROCHAIN NUMÉRO

Carré magique séquentiel

Ce carré magique est « décalé » pour contenir tous les nombres de 5 à 29 au lieu des 1 à 25 classiques. Cela permet d'obtenir les sommes qui se suivent de 79 à 90 sur les lignes, les colonnes et chacune des deux diagonales. Saurez-vous le compléter ?

	11		19		82
	7		12		81
	17		23	13	90
					88
		5	29	14	84
85	86	83	80	89	87	79

Logique d'héritage

Grand-père a trois filles, Anastasie, Belle et Céline, et six petits-enfants, Frédéric, Grégoire, Hector, Jean, Laure et Marie. Il prépare un partage pour ses petits-enfants qu'il veut équitable mais ne sait plus combien d'enfants a chacune de ses filles.

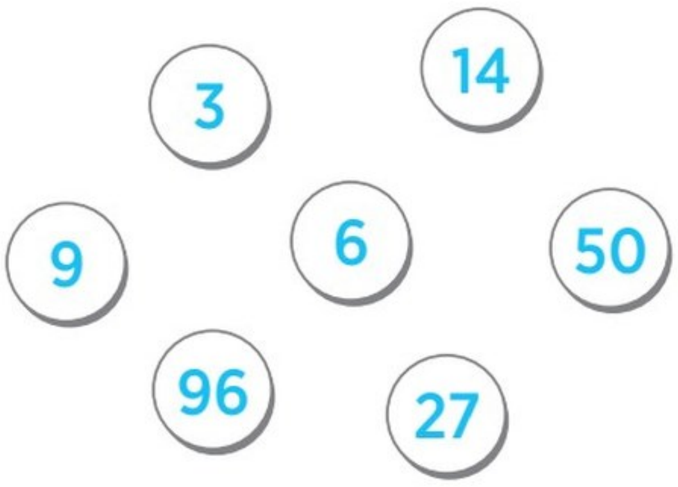
Il a pourtant noté que :

- Belle a la famille la plus nombreuse.
- Anastasie n'a pas de fille.
- Marie a 2 frères.
- Le frère d'Hector a 6 mois de moins que Grégoire.
- Laure n'a ni frère ni sœur.

Combien chacune des filles a-t-elle d'enfants ?

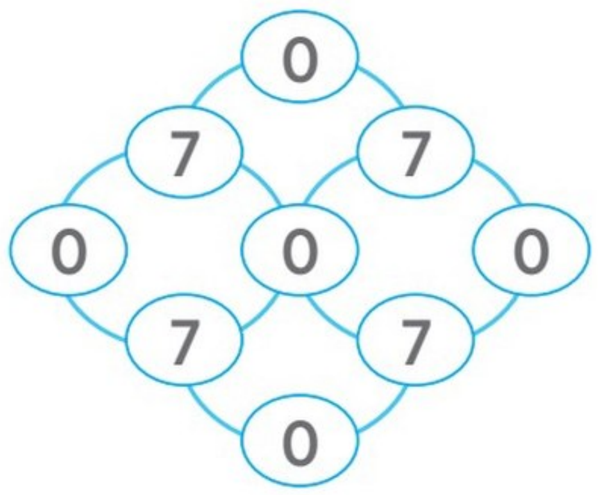
Particularités secrètes

Trouvez au moins 7 particularités permettant de singulariser un de ces nombres par rapport aux autres. (exemple : 3 est le seul nombre premier)



Combien de 0707 ?

De combien de manières peut-on lire la séquence 0707 en suivant les chiffres reliés par des traits et en n'utilisant chaque fois que des chiffres différents ?



Chasse aux signes

Placez les signes + et - qui réaliseront les égalités, en horizontal et en vertical.

11	○	7	○	8	=	10
○		○		○		
10	○	7	○	8	=	25
○		○		○		
13	○	9	○	9	=	31
=		=		=		
14		9		25		

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir » n° 929/930, juillet/août 2024

À Cloche-lettre

COUVERCLE de 4 en 4

Maigrir ou compter ?

- La deuxième affirmation dit : Laurent moins un quart de Laurent pèsent une mère moins 3 kg.
- Multiplions tout par quatre.
- 4 Laurent moins Laurent pèsent 4 mères, moins 12 kg.
- 3 Laurent valent 4 mères moins 12 kg.
- Divisons par 3.
- Laurent pèse 4/3 de mère moins 4.
- Reportons ce poids de Laurent dans la première affirmation, où :
- 5/4 de mère pèse Laurent moins 2 kg.

On a :

- 5/4 de mère pèse 4/3 de mère moins 4 moins 2.
- 5/4 de mère pèse 4/3 de mère moins 6.
- Multiplions tout par 12.
- 15 mères pèsent 16 mères moins 72.
- La mère de Laurent pèse donc 72 kg et son fils 4/3 x 72 -4 = 92 kg.

Logique pratique

Le serveur apportera une entrée, le gratin dauphinois et la tarte.

Compter ou épeler ?

555
x 999
554 445

Mariages de nombres

- 49 est multiple de 7.
- 119 est multiple de 7.
- 7 au carré = 49.
- 58 et 74 sont pairs.
- 58 et 67 ont la même somme de chiffres (13).
- 58 et 49 ont la même somme de chiffres (13)
- 7 et 67 sont premiers, etc.

Énigmes Créalude, Pierre Berloquin

Cholestérol : attention aux excès !

Le cholestérol est indispensable à l'organisme. Constituant fondamental des membranes cellulaires, il permet aussi de fabriquer la testostérone, les oestrogènes ainsi que la vitamine D. Cependant, un excès de cholestérol peut entraîner la formation de dépôts, appelés plaques, sur les parois des artères.

Cholestérol et stress oxydatif : un facteur aggravant

Les résultats des dernières études scientifiques montrent que le stress oxydatif est un facteur aggravant pour la formation de ces plaques. Il déclenche une réaction immunitaire faisant intervenir des globules blancs qui viennent s'ajouter aux dépôts de cholestérol, augmentant l'épaisseur de la plaque.

Qu'est-ce que le stress oxydatif ?

Le fonctionnement normal de l'organisme génère des radicaux libres, des particules très énergétiques essentielles au bon fonctionnement de l'organisme, mais qui peuvent endommager les cellules lorsqu'elles sont en excès, si elles ne sont pas neutralisées par des antioxydants. On parle alors de stress oxydatif.

Préserver naturellement la santé cardiovasculaire

L'apport d'actifs naturels, par l'alimentation et/ou par une supplémentation, peut aider à réguler les taux de cholestérol et à diminuer le risque de formation de plaques.

Connaissez-vous l'ail noir ?

L'ail noir est obtenu par un processus de maturation permettant de concentrer les principes bioactifs de l'ail. Il est ainsi 10 fois plus riche en antioxydants que l'ail frais.

Innovation pour lutter contre le cholestérol

ControlStérol aide à réguler naturellement les taux de cholestérol grâce à une combinaison unique d'extraits concentrés d'Ail noir riche en antioxydants et de Cannelle de Ceylan, associés à une souche brevetée de ferments lactiques, des vitamines et des nutriments essentiels. Une gélule « jour » et une gélule « nuit » aident à limiter le «mauvais» cholestérol LDL et son oxydation, limitant le risque cardiovasculaire associé, tout en augmentant le «bon» cholestérol HDL. **Une solution naturelle, simple, efficace !**

Des conseils ?

Les experts PhytoResearch vous répondent au **01 85 42 32 16** ou sur **www.controlsterol.com**

ControlStérol™
régulateur de cholestérol naturel

Disponible en pharmacie

ControlStérol boîte 60 gélules végétales (30 gél "jour" & 30 gél "nuit") ACL 626 04 90 - Convient aux végétaliens

SNCF VOYAGEURS

VOYAGEZ PLUS VITE EN POLLUANT MOINS

-95% DE CO_2

EN MOYENNE EN FRANCE ET VERS L'EUROPE*

RENDEZ-VOUS SUR LE SITE ET L'APPLICATION sncfconnect,
EN GARES, BOUTIQUES, AGENCES DE VOYAGES AGRÉÉES SNCF ET PAR TÉLÉPHONE.

DÉCOUVREZ L'ENGAGEMENT ENVIRONNEMENTAL SNCF SUR :
SNCF-VOYAGEURS.COM/FR/ DECOUVREZ-NOTRE-ENTREPRISE/SNCF-VOYAGEURS/ NOS-SOLUTIONS-DE-MOBILITE-VERTE

*Prendre le train à grande vitesse en France et vers l'Europe, c'est réduire de 95% en moyenne le CO2e émis pour un trajet équivalent, par la route ou par les airs. Source Base Carbone ADEME 2023 (bilans-ges.ademe.fr) et analyse comparative Carbone 4. Les émissions de gaz à effet de serre (GES) exprimées en CO2 équivalent (CO2e) du TGV sont calculées conformément au guide méthodologique de l'information GES des prestations de transport publié par l'Etat français et certifiées par les Commissaires aux Comptes. La méthodologie prend en compte les émissions liées à l'usage et à la fabrication et maintenance du véhicule. Elles sont rapportées au voyageur-kilomètre sur une valeur moyenne pour un trajet longue distance en France, en avion court-courrier et en voiture thermique, électrique longue distance France (contenant 2,2 passagers, taux d'occupation en voiture longue distance France établi par l'ADEME). TGV INOUI est une marque enregistrée de SNCF Voyageurs. Tous droits de reproduction réservés. SNCF Voyageurs, SA au capital social de 157 789 960 euros, inscrite au RCS de Bobigny sous le numéro 519 037 584 - 4, rue André Campra - CS20012 - 93212 Saint Denis Cedex. JL0724. **ROSA PARIS**

TGV INOUI